

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY
DOCUMENTSUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 31 AUG 1999

WIPO

PCT

EP 99 / 5282

Bescheinigung

Die PAPST-MOTOREN GMBH & CO KG in St Georgen/Deutschland hat eine
Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Elektronisch kommutierter Motor"

am 5. Oktober 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüngli-
chen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole
H 02 P und H 02 K der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 6. Juli 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Zeichen: 198 45 626.3

Brand

P61.12D217
DE-3039
02.10.1998

Anmelderin: PAPST-MOTOREN GmbH & Co. KG
Hermann-Papst-Straße 1
78112 St. Georgen

Bezeichnung: Elektronisch kommutierter Motor

Zusammenfassung

Bei einem elektronisch kommutierten Motor (M) werden mittels eines galvanomagnetischen Rotorstellungssensors (40) Rotorstellungssignale erzeugt. Hierbei wird über einen Timer (CNT_HL) eine verfrühte Kommutierung verwirklicht, welche erst ab einer bestimmten Drehzahl des Motors auftritt und deren Größe eine Funktion der Drehzahl ist.

Hierzu Fig. 1

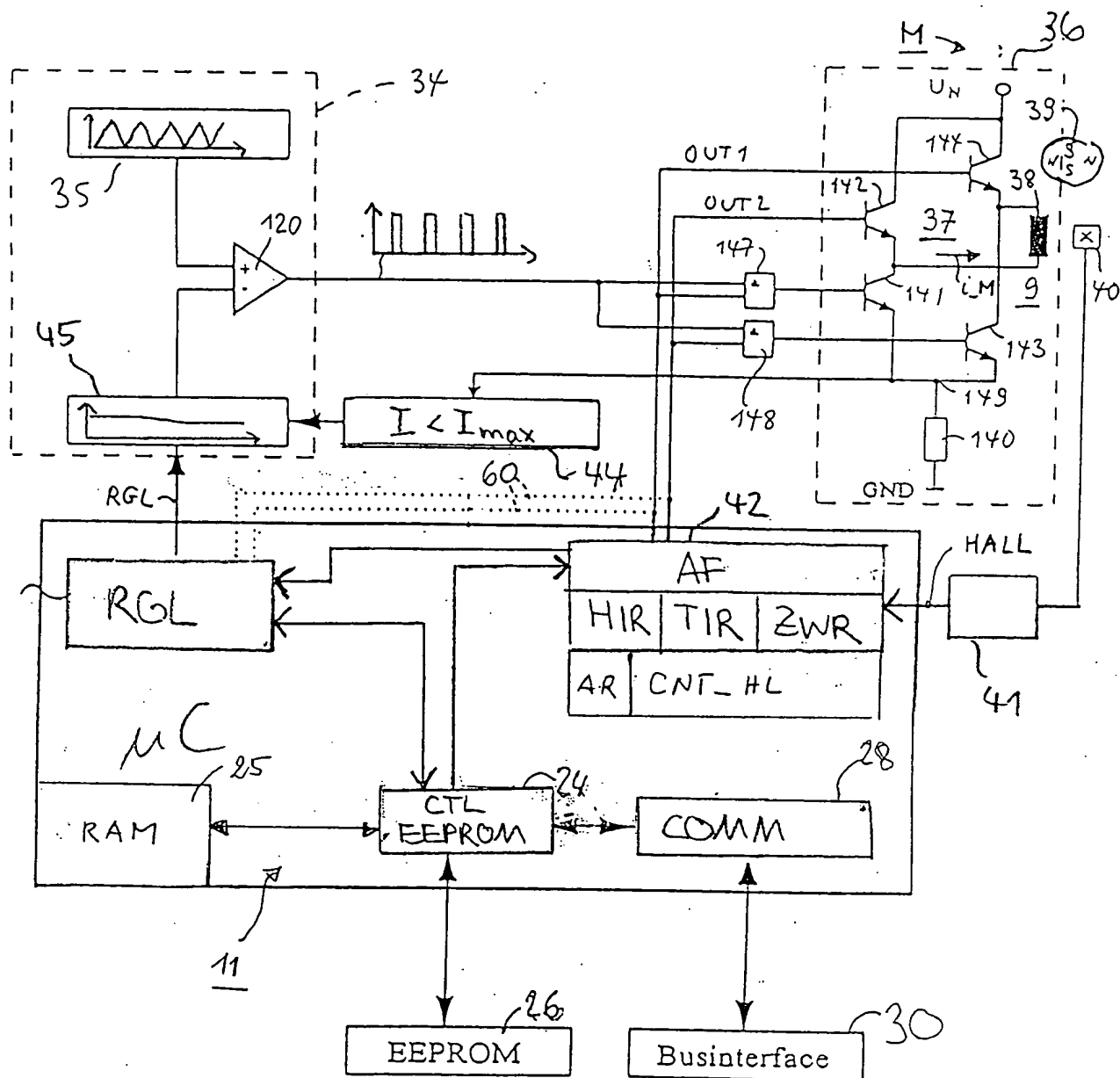


Fig. 1

Elektronisch kommutierter Motor

Die Erfindung betrifft einen elektronisch kommutierten Motor, und insbesondere einen elektronisch kommutierten Motor mit einem "Vorzündwinkel". Hierunter versteht man, daß die Kommutierung auf einen früheren Zeitpunkt verschoben wird, meist abhängig von der Drehzahl. Selbstverständlich wird bei einem Elektromotor nichts "gezündet", aber wegen seiner Anschaulichkeit verwendet man in der Praxis gerne diesen (aus der Automobiltechnik entlehnten) Begriff und spricht deshalb von einer "Zündwinkelverschiebung". Dieser Begriff wird deshalb nachfolgend verwendet, auch wenn er wissenschaftlich nicht völlig korrekt ist.

Zum Stand der Technik

Elektronisch kommutierte Motoren mit Vorzündwinkel sind z.B. aus DE-A, 197 00 479.2 (intern: D201i) bekannt. Hierbei ist die Genauigkeit der Kommutierung für manche Fälle nicht ausreichend groß, und das Programm muß nach einem festgelegten Zeitschema ablaufen, was aufwendig ist und die Rechenleistung eines Prozessors in manchen Fällen nur unzureichend ausnutzt. Auch können die Kommutierungsvorgänge zeitlich etwas schwanken, was die Geräusche eines solchen Motors erhöht.

Es ist deshalb eine Aufgabe der Erfindung, einen neuen elektronisch kommutierten Motor, und ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Motors, bereitzustellen.

Nach einem ersten Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch einen elektronisch kommutierten Motor gemäß dem Patentanspruch 1. Ein solcher Motor arbeitet besonders bei höheren Drehzahlen mit einem besseren Wirkungsgrad, weil die Kommutierung mit zunehmender Drehzahl immer mehr nach früh verschoben werden kann. Durch die Verwendung einer Interruptroutine ergibt sich eine zeitlich präzise Steuerung des Kommutierungsvorgangs und damit ein ruhiger Lauf des Motors.

Eine andere Lösung der gestellten Aufgabe ergibt sich durch ein

erfindungsgemäßes Verfahren gemäß dem Patentanspruch 11. Dadurch, daß anschließend an den Ablauf der ersten Zeit noch eine zweite Zeit gemessen wird, erhält man in sehr einfacher Weise durch Addition dieser beiden Zeiten, und ggf. eines Korrekturfaktors, eine zur Drehzahl des Motors im wesentlichen umgekehrt proportionale Zeitgröße, welche bei einem nachfolgenden Kommutierungsvorgang als aktualisierte Zeitgröße zur Berechnung eines neuen Zahlenwerts für die erste Zeit dienen kann.

Dabei wird gemäß Patentanspruch 17 diese Zeitgröße bevorzugt für einen Kommutierungsvorgang verwendet, der eine Rotorumdrehung später als die Messung der ersten und der zweiten Zeit liegt, weil sich dann ein besonders ruhiger Lauf des Motors ergibt. Wenn z.B. die Zeitgröße im Drehwinkelbereich 0° bis 180° el. gemessen wird, kann sie eine Umdrehung später die Basis für die Steuerung einer Kommutierung sein, die dort etwa im gleichen Winkelbereich 0° bis 180° el. stattfindet.

Auch wird in besonders bevorzugter Weise mindestens ein nicht zeitkritischer Verfahrensschritt als Unteroutine ausgebildet, welche im Programmablauf dann aufgerufen wird, wenn hierfür Prozessorzeit verfügbar ist. Dies ermöglicht es, im Gegensatz zu einem Programm mit festem Zeitschema, die Ressourcen eines Prozessors optimal zu nutzen, da bei dieser Verfahrensweise die Unteroutine dann abgearbeitet wird, wenn der Prozessor sonst gerade nichts zu tun hat.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen und in den Zeichnungen dargestellten, in keiner Weise als Einschränkung der Erfindung zu verstehenden Ausführungsbeispielen, sowie aus den übrigen Unteransprüchen. Es zeigt:

Fig. 1 eine beispielhafte Übersichtsdarstellung einer Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 die Pinbelegung des μC COP842CJ,

- Fig. 3 ein Schaltbild, welches die Bauteile für die Verarbeitung des Hallsignals zeigt,
- Fig. 4 eine Darstellung des Hallsignals und einer Kommutierung ohne Zündwinkelverschiebung,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Berechnung eines (verfrühten) Kommutierungszeitpunkts T_N aus Werten, die aus einem Signal HALL abgeleitet werden,
- Fig. 6A und 6B
eine Darstellung der Berechnung der Hall-Länge, wenn kein Timer-Interrupt vorliegt,
- Fig. 7A und 7B
eine Darstellung der Berechnung der Hall-Länge bei Vorliegen eines Timer-Interrupts,
- Fig. 8A und 8B
ein Flußdiagramm einer Hall-Interruptroutine mit Zündwinkelverschiebung,
- Fig. 9 ein Flußdiagramm einer Zündwinkelberechnungsroutine,
- Fig. 10 ein Flußdiagramm einer Timer-Interruptroutine mit Zündwinkelberechnung
- Fig. 11 eine Darstellung des Hallsignals beim Hochlauf eines Motors,
- Fig. 12A und 12B
eine Darstellung des Hallsignals und der zugehörigen Variablen der Antriebsfunktion,
- Fig. 13 ein Schaltbild mit Teilen, die für die Regelung und den Antrieb des elektronisch kommutierten Motors wichtig sind,

- Fig. 14 ein Schaltbild mit für die Ansteuerung eines EEPROMs und die Datenverbindung über einen Bus 30 wichtigen Teilen,
- Fig. 15 eine Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines Funktionsmanagers,
- Fig. 16 ein in dem Funktionsmanager verwendetes Funktionsregister,
- Fig. 17 eine schematische Darstellung des Permanentmagneten eines vierpoligen Außenrotors,
- Fig. 18A und 18B
Schaubilder zur Erläuterung der Wirkung von Magnetisierungsfehlern des Außenrotors der Fig. 17,
- Fig. 19 ein Flußdiagramm zur Zündwinkelberechnung, analog Fig. 9, aber in einer bevorzugten, modifizierten Form,
- Fig. 20 ein Flußdiagramm einer Hall-Interruptroutine für eine Kommutierung, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist,
- Fig. 21 eine schematische Darstellung des Ablaufs der Kommutierung für den Fall, daß die Kommutierungszeitpunkte elektronisch nach früh verschoben werden,
- Fig. 22 den zeitlichen Verlauf des Signals HALL und des Stromes i_M in einer Motorwicklung ohne eine Verschiebung des Kommutierungszeitpunkts in Richtung früh, und
- Fig. 23 den zeitlichen Verlauf des Signals HALL und des Stromes i_M in einer Motorwicklung bei einer Verschiebung des Kommutierungszeitpunkts in Richtung früh.

Übersicht elektronisch kommutierter Motor (ECM)

Fig. 1 zeigt eine Übersicht über ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen elektronisch kommutierten Motors (ECM). Dieser wird gesteuert mittels eines Mikrocontrollers (μ C) 11, oder alternativ eines Mikroprozessors. Die Anschlüsse des beim Ausführungsbeispiel verwendeten μ C 11 (COP842CJ) sind in Fig. 2 beispielhaft dargestellt.

Das in dem μ C 11 ablaufende Programm ist mit Hilfe eines Funktionsmanagers strukturiert, welcher nachfolgend anhand von Fig. 15 und 16 beschrieben wird.

Der μ C 11 hat über die Funktion "CTL EEPROM" 24 Zugriff auf einen nichtflüchtigen Speicher, hier ein EEPROM 26, von dem er Betriebsparameter in ein RAM 25 laden kann. Auch kann er Betriebsparameter im RAM 25 und im EEPROM 26 speichern. Der μ C 11 kann über eine Kommunikationsfunktion COMM 28 und ein Businterface 30 Daten empfangen und senden. Die empfangenen Daten kann er zur Motorsteuerung verwenden oder im RAM 25 oder EEPROM 26 speichern. Das EEPROM 26 und das Businterface 30 sind bei Fig. 14 beschrieben.

Als einfaches Beispiel ist in Fig. 1 ein elektronisch kommutierter Motor M mit einer einzigen Phase 38 dargestellt. Ein solcher Motor ist z.B. in der DE 2 346 380 C dargestellt. Die Bestromung dieser Phase 38 geschieht durch eine Transistorendstufe 36. Die Ausgänge OUT1 und OUT2 des μ C 11 steuern die als H-Brücke 37 geschalteten npn-Transistoren 141, 142, 143 und 144. Je nachdem, ob OUT1 auf HIGH und OUT2 auf LOW gesetzt sind, oder umgekehrt, verläuft der Strom durch die Statorwicklung 38 in die eine oder die andere Richtung. Selbstverständlich eignet sich die Erfindung in gleicher Weise für jede Art von elektronisch kommutiertem Motor, z.B. für dreiphasige Motoren und andere. Es handelt sich also nur um ein Ausführungsbeispiel.

Die Kommutierung erfolgt elektronisch. Hierzu wird die Stellung des permanentmagnetischen Rotors 39 über einen Hallsensor 40 erfaßt, über

eine elektronische Hall-Schaltung 41, welche in Fig. 3 näher beschrieben wird, zu einem Signal HALL aufbereitet und an eine Antriebsfunktion AF 42 weitergeleitet, welche eine Hall-Interruptroutine HIR (Fig. 8), eine Timer-Interruptroutine TIR (Fig. 10), eine Zündwinkelberechnungsroutine ZWR (Fig. 9), und einen Timer CNT_HL aufweist. Der Timer CNT_HL ist beim Ausführungsbeispiel Bestandteil des verwendeten μ C 11, könnte aber auch ein separates Bauteil sein. Er dient dazu, Zeiten mit hoher Präzision zu messen und ist durch Befehle des μ C 11 steuerbar.

Die Antriebsfunktion 42 sorgt für die richtige Kommutierung der Transistorendstufe 36 und den sicheren Betrieb, z.B. bei Überlastung der Transistorendstufe 36. Eine Kommutierung ohne Zündwinkelverschiebung wird bei Fig. 4 beschrieben. Die Kommutierung mit Zündwinkelverschiebung wird bei den Fig. 6 bis 12B beschrieben und ist in Fig. 21 dargestellt.

Ein Drehzahlregler RGL 43 regelt beim Ausführungsbeispiel die Motordrehzahl. (Selbstverständlich kann der Motor M auch ohne Drehzahlregler 43 betrieben werden.) Die Drehzahlregelung kann z.B. mittels eines Pulsweitenmodulation-Generators (PWM-Generators) 34 oder über eine Blocksteuerung geschehen, die bei 60 mit gestrichelten Linien schematisch angedeutet ist. Zur Blocksteuerung wird beispielhaft auf DE 444 1 372.6 (intern: D183i) verwiesen, die ein Beispiel einer solchen Blocksteuerung zeigt.

Der PWM-Generator 34 weist einen Dreiecksgenerator 35, eine Regelspannungserzeugung 45 und einen Komparator 120 auf und ist bei Fig. 13 näher erläutert. Die Erfindung kann selbstverständlich auch bei einem ECM ohne Drehzahlregelung verwendet werden.

Eine Strombegrenzung " $I < I_{\max}$ " 44 vermindert die Bestromung der Endstufe 36, falls der Strom in der einzigen Phase 38 zu hoch wird, z.B. beim Start des Motors. Die Strombegrenzung 44 wird bei Fig. 13 näher beschrieben.

Am Ende der Beschreibung sind für die in den einzelnen Figuren des

Ausführungsbeispiels verwendeten elektronischen Bauteile bevorzugte Werte angegeben. Der Leser wird hierauf verwiesen.

Fig. 2 zeigt die Pinbelegung des beim Ausführungsbeispiel verwendeten Mikrokontrollers (μC) 11 vom Typ COP842CJ der Firma National Semiconductors. Die Beschriftung innerhalb des μC 11 entspricht der Beschriftung des Herstellers, die äußere Beschriftung der jeweiligen Leitungen zeigt die hauptsächlich in der Anmeldung verwendeten Bezeichnungen. Zur Kennzeichnung der Lage ist links oben ein schwarzer Viertelkreis eingezeichnet, der sich in den folgenden Figuren wiederfindet.

Fig. 3 zeigt ein detailliertes Schaltbild der Bauteile für die Hall-Schaltung 41, welche das Signal des Hall-Sensors 40 aufbereitet, die Beschaltung der Takteingänge CK0 und CK1 und die Beschaltung des Reseteingangs RES. Die übrigen Bauteile sind in Fig. 3 nicht dargestellt.

Ein Schwingquarz 97, der an die Anschlüsse CK0 und CK1 (vgl. Fig. 3) des μC 11 angeschlossen ist, gibt dessen Taktfrequenz vor, z.B. 10 MHz. Der Reseteingang Res (Fig. 3) ist über einen Kondensator 99 mit Masse 100 und über einen Widerstand 101 mit $+V_{\text{cc}}$ verbunden. Diese beiden Bauelemente erzeugen in der üblichen Weise beim Einschalten einen Power-Up-Reset.

Der Hallgenerator 40 ist zur Stromversorgung über einen Widerstand 106 mit $+V_{\text{cc}}$, und mit Masse 100, verbunden. Sein Ausgangssignal u_{H} wird den beiden Eingängen eines Komparators 108 zugeführt, dessen V_{cc} -Eingang ein Siebkondensator 110 zugeordnet ist. Der Ausgang des Komparators 108 ist über einen Rückführwiderstand 112 mit dem positiven Eingang des Komparators 108 und über einen sogenannten Pullup-Widerstand 114 mit $+V_{\text{cc}}$ verbunden. Weiterhin ist der Ausgang des Komparators 108 direkt mit dem Port Hall (Fig. 3) des μC 11 verbunden, so daß man an diesem ein vom Rotormagneten 39 (Fig. 2) gesteuertes, rechteckförmiges Signal HALL erhält.

Das Signal des Hall-Sensors 40, und die Kommutierung

Fig. 4 zeigt ein Diagramm mit dem Signal HALL (Fig. 3) und der zugehörigen Kommutierung für den Fall, daß keine "Zündwinkelverschiebung" verwendet wird, d.h. daß die Kommutierung direkt durch das Signal HALL gesteuert wird.

Das Signal HALL hat - in seiner idealisierten Form - während einer Rotordrehung von 180° el. den Wert $HALL = 0$, und während der anschließenden Drehung von 180° el. den Wert $HALL = 1$. Jede Änderung von $HALL = 1$ zu $HALL = 0$, oder umgekehrt, bewirkt einen Interruptvorgang im $\mu C 11$, welcher in Fig. 4 in der Reihe HALL-INT mit einem Y bezeichnet ist.

Die Zeit zwischen zwei Hallwechseln, z.B. zwischen den Zeitpunkten t_O und t_E , wird nachfolgend Hall-Länge HL oder auch Hallzeit t_H genannt und ist in Fig. 4 als Ist-Hall-Länge HL eingezeichnet. Die Hall-Länge ist ein Maß für die Drehzahl des Motors. Je kleiner sie ist, desto größer ist die Drehzahl des Rotors 39 (Fig. 1). (Ein Istwert ist der aktuelle Wert, der am Motor gemessen wird.)

Die Bestromung der Statorwicklungen wird bei diesem Beispiel durch die Ausgangssignale OUT1 und OUT2 des $\mu C 11$ (Fig. 1 und 2) gesteuert, welche in Fig. 4 beispielhaft für den Betrieb bei niederen Drehzahlen angegeben sind und in Fig. 21 beschrieben werden.

Ist OUT1 auf 1 (HIGH) und OUT2 auf 0 (LOW), so fließt der Strom (Fig. 1) von der Plusspannung U_N über den Transistor 144, die Statorwicklung 38, den Transistor 141 und den Meßwiderstand 140 nach Masse.

Ist dagegen OUT1 auf 0 und OUT2 auf 1, so fließt der Strom (Fig. 1) von der Plusspannung U_N über den Transistor 142, in umgekehrter Richtung durch die Statorwicklung 38, über den Transistor 143 und den Meßwiderstand 140 nach Masse. Die Statorwicklung 38 wird dann umgekehrt bestromt.

Wenn keine Zündwinkelverschiebung vorgenommen wird, werden dort,

wo sich das Signal HALL ändert, also bei den Hall-Interrupts Y, beide Werte OUT1 und OUT2 durch den μC 11 kurzzeitig zu Null gemacht, z.B. während $50\ \mu\text{s}$, um alle vier Transistoren 141 bis 144 kurzzeitig zu sperren und einen Kurzschluß in der Brücke 37 zu vermeiden. Dies ist in Fig. 4 dargestellt.

Eine einfache Hall-Interruptroutine für die Kommutierung gemäß Fig. 4 wird nachfolgend bei Fig. 20 beschrieben.

Zusammenhang zwischen Drehzahl und Hall-Länge

Die Hall-Länge HL ist in Fig. 4 dargestellt. Ihr Zusammenhang mit der Drehzahl n wird im folgenden aufgezeigt. Dieser Zusammenhang ist eine Funktion der Polzahl P des Rotors 39.

Mißt man die Hall-Länge HL' in Sekunden, so gilt

$$\text{HL}' = T/P \quad \dots(1)$$

Hierbei bedeuten:

T = Dauer einer Rotorumdrehung in Sekunden

P = Polzahl des Rotors 39.

Mißt man die Drehzahl n in U/min, so gilt

$$\text{HL}' = 60/(n \times P) \quad \dots(2)$$

Hierbei bedeuten

n = Drehzahl in U/min

P = Polzahl des Rotors 39

Da die Hall-Länge HL beim Ausführungsbeispiel in μs vorliegt, HL' aber in Sekunden, wird HL' zu HL renormiert

$$\text{HL} = 1\,000\,000\ \text{HL}' \quad \dots(3)$$

Für P = 4, also einen vierpoligen Rotor, ergibt sich

$$\text{HL} = 15\,000\,000/n \quad \dots(4)$$

Umgekehrt ist bei P = 4

$$n = 15\,000\,000/\text{HL} \quad \dots(5)$$

Hierbei bedeuten:

n = Drehzahl in U/min

HL = Hall-Länge in μs

Der Drehzahl $n = 2870 \text{ min}^{-1}$ entspricht z.B. bei einem vierpoligen Rotor eine Hall-Länge HL von

$$HL = 15\,000\,000 / 2870 = 5226 \mu\text{s}.$$

Die prozessorinterne Hexadezimaldarstellung hierfür ist 0x146A. (Hexadezimalzahlen werden durch ein vorangestelltes 0x gekennzeichnet.)

Die Zündwinkelverschiebung

Beim Motor nach Fig. 1 ist der Rotorstellungssensor 40 in einer Pollücke des Stators angeordnet, also bei 0° el. , und ein Wechsel des Signals HALL wird folglich erzeugt bei 0° el. , 180° el. , 360° el. etc., wie in Fig. 4 beispielhaft dargestellt. Für eine solche Anordnung des Hallgenerators wird beispielhaft verwiesen auf DE-A, 197 00 479.2 (intern: D201i), Fig. 1, Teil 25.

Bei schnellaufenden Motoren ist es jedoch zur Optimierung der Leistung und des Wirkungsgrads notwendig, die Kommutierung des Stroms in der Statorwicklung 38 vor dem Wechsel des Hallsignals durchzuführen, also in Fig. 4 zeitlich vor t_0 , ebenso zeitlich vor t_E . Man kann das als Vorzündung oder Frühzündung bezeichnen. Hierzu wäre es möglich, den Rotorstellungssensor 40 relativ zum Stator des Motors 39 zu verschieben. Da der Motor aber meist in beiden Richtungen laufen soll, und der Vorzündwinkel bei beiden Drehrichtungen mit zunehmender Drehzahl zunehmen soll, ist dies nicht praktikabel.

Die Zündwinkelverschiebung wird deshalb elektronisch gesteuert. Hierzu wird der bereits beschriebene 16 Bit-Timer CNT_HL (Fig. 1) verwendet. Der Timer CNT_HL wird bei jedem Hall-Interrupt Y mit einem (zuvor berechneten) Anfangswert t_{TI} geladen und anschließend heruntergezählt, bis er den Wert 0 erreicht. Beim Erreichen der Null löst der Timer CNT_HL im $\mu\text{C 11}$ einen sogenannten Timer-Interrupt aus, und der Timer wird automatisch mit dem Inhalt t_{AR} eines sogenannten Autoreload-Registers AR (ebenfalls im $\mu\text{C 11}$) nachgeladen und erneut gestartet, vgl. S302 in Fig. 10.

Bei einem Hall-Interrupt Y wird der Timer CNT_HL nun so eingestellt, daß er zu dem Zeitpunkt die Null erreicht und dadurch einen Interrupt auslöst, zu dem die Kommutierung stattfinden soll. Dieser Timer-Interrupt wird in Fig. 5 mit T_N , T_{N+1} etc. bezeichnet, und ein Hall-Interrupt mit H_N , H_{N+1} etc.

Die Arbeitsweise des Timers ist durch den verwendeten μC vorgegeben, der diesen Timer enthält. Dabei ist ggf. die Möglichkeit gegeben, den Timer über ein Register des μC zu konfigurieren. Mögliche Konfigurationen betreffen z.B. das Auslösen eines Interrupts beim Erreichen der 0, oder automatisches Wiederaufladen des Timers bei Erreichen der 0.

Zusätzlich wird hier der Timer CNT_HL in sehr vorteilhafter Weise für die Messung der Hall-Länge HL (Fig. 4) verwendet, die in Fig. 5 mit t_{HN} bezeichnet ist.

Fig. 5 zeigt die Berechnung des Timerstartwerts t_{TI} . Dargestellt sind das Signal HALL, das an dem Eingang Hall (Fig. 2) des μC 11 anliegt, die Hall-Interrupts H_{N-1} , H_N etc., die Timer-Interrupts T_{N-1} , T_N etc. und die Hall-Längen $t_{H_{N-1}}$, t_{H_N} etc., welche beim Ausführungsbeispiel die Zeit angeben, die der vierpolige Rotor 39 für eine Viertels-Umdrehung benötigt, also für 180° el..

Die Begriffe Hall-Länge HL und Hallzeit t_H werden im folgenden synonym verwendet. Eine Hallzeit $t_{H_{N+1}}$ beginnt jeweils nach und exklusive einem Hall-Interrupt H_N und endet mit und inklusive dem folgenden Hall-Interrupt H_{N+1} . Die Hall- und Timer-Interrupts werden nach der Hallzeit, in der sie stattfinden, numeriert. Zur Hallzeit t_{H_N} gehört also der Timer-Interrupt T_N und - am Ende dieser Zeit - der Hall-Interrupt H_N .

Unter dem Signal HALL sind in Fig. 5 die Werte des Timers CNT_HL eingetragen. Zwischen den jeweiligen Werten zählt der Timer CNT_HL herunter, z.B. im Zeitraum 310 von t_{TI} auf 0, und im Zeitraum 312 von t_{TI} auf t_E .

Der Timerstartwert t_{TI} für die Hallzeit $t_{H_{N+2}}$ wird bei diesem Beispiel aus der Hall-Länge t_{H_N} berechnet. Hierzu wird, wie bei 300 symbolisch angegeben, während der Hallzeit $t_{H_{N+1}}$ ein Wert t_{TI} berechnet nach der Beziehung

$$t_{TI} := t_{H_N} - t_{ZW} \quad \dots(6)$$

d.h. von der Hall-Länge t_{H_N} wird eine (hier konstante) Zündwinkelzeit t_{ZW} abgezogen. Analog wird t_{TI} für die Hallzeit $t_{H_{N+3}}$ aus der Hall-Länge $t_{H_{N+1}}$ berechnet, wie bei 301 symbolisch angegeben, usw.

Auf diese Weise wird also zu den Zeitpunkten T_N, T_{N+1}, T_{N+2} etc kommutiert. T_N liegt etwa um die Zeit t_{ZW} früher als H_N , d.h. die Kommutierung wird nach früh verschoben. Analog liegt T_{N+1} früher als H_{N+1} , etc. Die Zeitpunkte T_N, T_{N+1} etc sind durch einen nach oben ragenden Pfeil angedeutet.

Nachfolgend wird anhand der Fig. 17 bis 19 beschrieben, wie bei einem vierpoligen Rotor 39 in sehr vorteilhafter Weise z.B. der Kommutierungszeitpunkt T_{N+4} durch die zeitlich vorhergehende Hall-Länge t_{H_N} bestimmt werden kann, was einen besonders ruhigen Lauf des Motors ergibt. Diese Variante ist in Fig. 5 mit 304 bezeichnet und durch die strichpunktierten Linien 306, 308 symbolisiert. Bei einem sechspoligen Rotor würde analog der Kommutierungszeitpunkt T_{N+6} durch die Hall-Länge t_{H_N} bestimmt werden.

Fig. 6 und Fig. 7 zeigen die beiden möglichen Fälle, die bei der Messung der Hall-Längen t_H mit dem Timer CNT_HL auftreten können.

Dargestellt sind das Signal HALL, das an dem Eingang Hall (Fig. 2) des μC 11 anliegt, die Hall-Interrupts H_N und H_{N+1} , ein Timer-Interrupt T_{N+1} (in Fig. 7), und an der Zeitachse stehen in Fig. 7A die Startwerte t_B und die Stoppwerte t_E des Timers CNT_HL, die bei der Berechnung der Hall-Länge $t_{H_{N+1}}$, die ja erst während der folgenden Hallzeit $t_{H_{N+2}}$ ausgeführt wird, zur Verfügung stehen. t_B entspricht dem (zuvor

berechneten) Startwert t_{TI} des Timers CNT_HL beim Hall-Interrupt H_N und t_E dem Stoppwert des Timers CNT_HL beim Hall-Interrupt H_{N+1} .

Es können nun zwei Fälle auftreten.

Der erste Fall (Fig. 6) ist, daß der Motor so stark beschleunigt, daß der Hall-Interrupt H_{N+1} auftritt, bevor der Timer CNT_HL den Wert 0 erreicht. In diesem Fall wird in der durch den Hall-Interrupt H_{N+1} ausgelösten Hall-Interruptroutine der Stoppwert des Timers CNT_HL in t_E gespeichert (S202 in Fig. 8A), der Motor wird kommutiert, der Timer CNT_HL und das Autoreload-Register AR werden erneut mit einem aus der Hall-Länge $t_{H_{N-1}}$ berechneten Wert (Fig. 5) geladen, und der Timer CNT_HL wird erneut gestartet (S238 in Fig. 8B). Bei Fig. 6 tritt also während der Hallzeit $t_{H_{N+1}}$ kein Timer-Interrupt T_{N+1} auf.

Die Hall-Länge $t_{H_{N+1}}$ berechnet sich in diesem Fall nach der Beziehung

$$t_{H_{N+1}} := t_B - t_E + t_{CORR} \quad \dots(7)$$

t_{CORR} ist hierbei ein Korrekturwert, der in Fig. 9 bei S258 näher erläutert wird und in Fig. 6B dargestellt ist.

Der zweite Fall (Fig. 7A) ist, daß der Timer CNT_HL vor dem Auftreten des Hall-Interrupts H_{N+1} die 0 erreicht. Beim Erreichen der Null wird ein Timer-Interrupt T_{N+1} ausgelöst, der in Fig. 10 dargestellt ist. Der Timer CNT_HL wird beim Timer-Interrupt T_{N+1} automatisch mit dem Wert t_{AR} aus dem Autoreload-Register AR (Fig. 1) nachgeladen und erneut gestartet, vgl. S302 in Fig. 10. t_B hat hier den gleichen Wert wie t_{TI} und entspricht damit auch t_{AR} .

Dies zeigt Fig. 7B. In der Zeitspanne ab einem Zeitpunkt kurz nach H_N bis T_{N+1} zählt der Timer CNT_HL von t_B auf 0 herunter und löst beim Wert 0 den Timer-Interrupt T_{N+1} aus. Am Anfang dieses Interrupts wird der Timer CNT_HL erneut mit t_B geladen, vgl. Fig. 10, S302, und zählt dann während der Zeit bis H_{N+1} erneut herunter, erreicht dabei aber nicht den Wert 0, sondern nur den Wert t_E . Beim Hall-Interrupt H_{N+1} wird der Timer

CNT_HL erneut mit einem (zuvor berechneten) Wert t_B geladen, und die ganze Prozedur wiederholt sich.

In der durch das Auftreten des Timer-Interrupts T_{N+1} aufgerufenen Timer-Interruptroutine wird, sofern die Zündwinkelverschiebung eingeschaltet ist, die Kommutierung durchgeführt, vgl. Fig. 10, S318, S320, S322, und ein Flag KD (Kommutierung Durchgeführt) wird auf 1 gesetzt, vgl. Fig. 10, S324.

Bei dem darauffolgenden Hall-Interrupt H_{N+1} wird der Timer CNT_HL erneut gestoppt und seine Endzeit t_E abgespeichert, vgl. Fig. 8A, S202. Die Hall-Länge $t_{H_{N+1}}$ (Fig. 7) wird aufgrund des gesetzten Flags KD (Fig. 9, S252) in den Schritten S254 und S258 von Fig. 9 folgendermaßen berechnet:

$$t_1 := t_B - t_E \quad \dots(8)$$

$$t_{H_{N+1}} := t_B + t_1 + t_{\text{CORR}} \quad \dots(9)$$

Hierbei ist t_1 die Zeit zwischen dem Timer-Interrupt T_{N+1} und dem Hall-Interrupt H_{N+1} , wie in Fig. 7 dargestellt. Für die Berechnung der Hall-Länge $t_{H_{N+1}}$ muß zu dem Wert t_1 der Wert t_B addiert werden, da der Timer CNT_HL zwischen dem Hall-Interrupt H_N und dem Timer-Interrupt T_{N+1} diesen Wert auf Null heruntergezählt hat. Außerdem wird ggf. ein Korrekturwert t_{CORR} addiert, der in Fig. 7B dargestellt ist, z.B. 40 μs beträgt und nachfolgend bei Fig. 9, S258, näher erläutert wird. Nach dem Hall-Interrupt H_{N+1} und einer Drehzahlberechnung (S274 in Fig. 9) muß das Flag KD wieder zurückgesetzt werden ($KD := 0$, vgl. S272 in Fig. 9).

Zahlenbeispiel zu Fig. 7

Bei H_N wird der Timer CNT_HL z.B. auf den (zuvor im Schritt 303 der Fig. 5 berechneten) Wert $t_{\text{TI}} = t_B = 9800$ gesetzt. t_B hat also bei der Berechnung den Wert 9800 μs . Bei T_{N+1} hat der Timer CNT_HL den Wert 0 erreicht, bewirkt einen Timer-Interrupt, und wird erneut mit 9800 geladen

und gestartet (S302 in Fig. 10). Bei H_{N+1} hat der Zähler CNT_HL den Wert $t_E = 9640$ erreicht. Der Wert t_{CORR} soll $40 \mu s$ betragen. Dann ist nach den Gleichungen (8) und (9)

$$t_1 := 9800 - 9640 = 160 \mu s$$

$$t_{H_{N+1}} := 9800 + 160 + 40 = 10000 \mu s$$

Die Hall-Länge $t_{H_{N+1}}$ ist in diesem Beispiel also $10\,000 \mu s$ lang, entsprechend einer Drehzahl (Gleichung 5; vierpoliger Rotor) von $n_i = 15\,000\,000 / t_{H_{N+1}} = 15\,000\,000 / 10\,000 = 1500 \text{ U/min}$.

Anschließend wird kurz nach H_{N+1} der Timer CNT_HL auf einen neuen Wert t_B' geladen, der dem (zuvor berechneten) Wert t_{TI}' entspricht, vgl. den Schritt 300 in Fig. 5.

Fig. 8A und 8B zeigen das Flußdiagramm einer beispielhaften Ausführungsform einer bevorzugten Hall-Interruptroutine, also einer rotorstellungsabhängigen Interruptroutine. Diese wird ausgelöst beim Erreichen von vorgegebenen Rotorstellungen und ist zuständig für die Bestimmung der Hall-Länge t_{HN} und auch für die Kommutierung, sofern letztere nicht in der Timer-Interruptroutine durchgeführt worden ist. Alle nachfolgend beschriebenen Register bzw. Variablen sind beim Ausführungsbeispiel 16 Bit groß.

In S202 wird der Timer CNT_HL gestoppt und die Stoppzeit des Timers CNT_HL in t_E gespeichert.

In den folgenden Schritten S204-S208 wird im $\mu C 11$ die Flanke für den nächsten Hall-Interrupt eingestellt. Hierzu wird in S204 überprüft, ob $HALL = 1$ ist. Ist dies der Fall, wird in S206 die Flanke, bei der der nächste Hall-Interrupt ausgelöst werden soll, auf eine fallende Flanke (HIGH \rightarrow LOW) gesetzt. Ansonsten wird in S208 die Flanke auf steigende Flanke (LOW \rightarrow HIGH) gesetzt.

In S210 wird nun anhand des Flags DE (Drehzahl Erreicht) zwischen zwei Fällen unterschieden:

- Ist $DE = 1$, so ist entweder kein Timer-Interrupt aufgetreten, oder ein Timer-Interrupt ist aufgetreten, und die Zündwinkelverschiebung war eingeschaltet. Beides sind, wie später weiter erläutert wird, Zeichen dafür, daß der Motor seine Drehzahl erreicht hat.
- Ist $DE = 0$, so war die Zündwinkelverschiebung ausgeschaltet ($SZW = 0$), und ein Timer-Interrupt ist aufgetreten. Dies ist, wie später erläutert wird, ein Zeichen dafür, daß die Minstdrehzahl n_{min} , ab der die Zündwinkelverschiebung eingeschaltet wird, noch nicht erreicht ist.

Für den Fall $DE = 0$ wird die Kommutierung durchgeführt und der Timer CNT_HL auf einen festen Wert t_{max} (maximale Hall-Länge) gesetzt, der der Minstdrehzahl n_{min} entspricht. Ist z.B. die Minstdrehzahl 300 U/min, so beträgt nach Gleichung (4)

$$t_{max} = 15\,000\,000/300 = 50\,000\,\mu s$$

Hierzu werden in S212 OUT1 und OUT2 auf 0 gesetzt.

In S214 werden das Autoreload-Register AR und der Zähler CNT_HL auf t_{max} (z.B. 50000) gesetzt. Der Timer CNT_HL arbeitet in diesem Beispiel mit einer Auflösung von $1\,\mu s$. Das Setzen von CNT_HL auf eine Länge von 50000 μs entspricht einer Drehzahl von 300 U/min. Daraufhin wird der Timer CNT_HL gestartet.

In S216 wird das Flag DE (war 0) auf 1 gesetzt und in S218-S222 die Kommutierung durchgeführt. Ist in S218 HALL = 1, so wird in S220 OUT1 auf HIGH, ansonsten in S222 OUT2 auf HIGH gesetzt. Für die zwischen dem Ausschalten der Ports OUT1 und OUT2 in S212 und dem Einschalten von OUT1 bzw. OUT2 in S220 bzw. S222 durchgeführten Programmschritte S214 - S218 hat das Programm eine gewisse Zeit benötigt, so daß eine ausreichende Kommutierungslücke (Fig. 21: t_G) eingehalten wurde, z.B. $50\,\mu s$.

In S224 wird schließlich der Hall-Interrupt verlassen.

Falls in S210 $DE = 1$ war, wird in S230 die Berechnung der Hall-Länge t_H und des neuen Timerwerts t_{TI} für die Zündwinkelverschiebung angefordert. Das Hauptprogramm ist mit Hilfe eines Funktionsmanagers aufgebaut, der nachfolgend in Fig. 15 näher beschrieben ist. Der Funktionsmanager ermöglicht es, durch Setzen von Flags Routinen anzufordern und durch das Zurücksetzen der Flags die Anforderung zu löschen. Für die Anforderung der Berechnung wird in S230 ein Flag FCT_ZWV auf 1 gesetzt.

Eine mögliche Alternative zu S230 besteht darin, die Berechnung direkt in der Hall-Interruptroutine (Fig. 8) durchzuführen. Dies soll durch S232 angedeutet werden. Wird die Berechnung in S232 ausgeführt, so kann für die Berechnung der Timer-Interruptzeit t_{TI} welche der Hallzeit t_{H_N} (z.B. t_{H_5}) zugeordnet ist, die Hallzeit $t_{H_{N-1}}$ (z.B. t_{H_4}) verwendet werden. Wird S230 verwendet, so wird die Hallzeit $t_{H_{N-2}}$ (z.B. t_{H_3}) verwendet, oder eine noch frühere Hallzeit, wie bei den Fig. 17 bis 19 beschrieben. Wird die Berechnung im Hallinterrupt durchgeführt (S232), so entfällt S230. Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich auf eine Version ohne S232.

In S234 (Fig. 8B) wird geprüft, ob das Flag $KD = 1$ ist (KD = Kommutierung Durchgeführt). Falls $KD = 1$ ist, so ist in der zu dem Hall-Interrupt gehörenden Hallzeit ein Timer-Interrupt aufgetreten, wie in Fig. 7A für H_{N+1} dargestellt, und die Zündwinkelverschiebung war eingeschaltet. In diesem Fall wurde die Kommutierung bereits im Timer-Interrupt (T_{N+1} in Fig. 7A) durchgeführt, und es wird direkt zu S238 gesprungen.

Ist in S234 $KD = 0$, so ist in der zu dem Hall-Interrupt gehörigen Hallzeit kein Timer-Interrupt aufgetreten, d.h. man hat die Situation gemäß Fig. 6. Die Kommutierungslücke (t_G in Fig. 21) wird in S236 durch das Setzen beider Ports $OUT1$ und $OUT2$ auf Null gestartet, d.h. die Statorwicklung 38

(Fig. 1) erhält kurzzeitig keine Energie zugeführt. Der Fall, daß ein Timer-Interrupt aufgetreten ist, aber aufgrund inaktiver Zündwinkelverschiebung bei diesem Interrupt nicht kommutiert worden ist, wird in dem Zweig unter S210 für $DE = 0$ berücksichtigt (Fig. 8A).

In S238 werden das Autoreload-Register AR und der Timer CNT_HL mit dem in der nachfolgend beschriebenen Zündwinkelberechnung (Fig. 9 oder 19) berechneten Wert t_{TI} geladen, und der Timer CNT_HL wird gestartet.

In S240 wird die Zündwinkelverschiebung durch das Setzen des Flags $SZW := 1$ auf aktiv gesetzt, da die erforderliche Drehzahl erreicht war ($DE = 1$), z.B. bei diesem Beispiel die Drehzahl 300 U/min.

In S242 wird wieder anhand des Flags KD (Kommutierung Durchgeführt) überprüft, ob die Kommutierung bereits stattgefunden hat. Falls nicht ($KD = 0$), wird in S244 anhand des Signals HALL überprüft, ob entweder in S246 OUT1 auf HIGH oder in S248 OUT2 auf HIGH gesetzt wird. Die Kommutierungslücke (t_G in Fig. 21) wird hierbei durch die zwischen dem Ausschalten der Ports OUT1 und OUT2 (S236) und dem Einschalten liegenden Schritte S238 bis S244 erzeugt.

In S250 wird die Hall-Interruptroutine schließlich verlassen.

Fig. 9 zeigt ein Flußdiagramm für eine beispielhafte Routine zur Zündwinkelberechnung, welche bei erreichter Mindestdrehzahl bei jeder Hall-Interruptroutine (Fig. 8) durch Setzen des Anforderungsbits FCT_ZWV (Fig. 15) angefordert wird, vgl. S230 in Fig. 8A. Die Zündwinkelberechnung wird durch den Funktionsmanager 190 (Fig. 15) aufgerufen, wenn keine Aufgaben höherer Priorität angefordert sind. Man kann deshalb nicht genau sagen, wann diese Berechnung stattfindet. Die Zeitpunkte B_N (z.B. in Fig. 12A und 12B), an denen die Zündwinkelberechnung ausgeführt wird, sind also nicht genau festgelegt, sondern stellen Beispielzeitpunkte dar.

Es ist zu beachten, daß die Berechnung der Hall-Länge t_H immer für eine vorhergehende Hallzeit gilt. So wird z.B. während der Hallzeit t_{H_N} die Hall-Länge $t_{H_{N-1}}$ berechnet.

In S252 wird anhand des Flags KD überprüft, ob in dem Timer-Interrupt (z.B. T_{N+1} in Fig. 7) eine Kommutierung durchgeführt wurde, vgl. S234 in Fig. 10. Falls ja ($KD = 1$), so ergibt sich gemäß S254, wie in Fig. 7 gezeigt und dort beschrieben, die Hall-Länge t_H aus der Startzeit t_B und der Zeit t_1 , welche die Differenz von t_B und t_E ist. Falls nein ($KD = 0$), ergibt sich gemäß S256 die Hall-Länge t_H aus der Differenz von t_B und t_E , vgl. Fig. 6.

In S258 wird zu der Hall-Länge t_H eine Korrekturzeit t_{CORR} addiert. Diese ergibt sich daraus, daß der Timer CNT_HL am Anfang der Hall-Interruptroutine (Fig. 8A und 8B) bei S202 angehalten, aber erst später in S232 erneut gestartet wird. Bis dahin hat die Hall-Interruptroutine eine gewisse Zeit benötigt, die nun als t_{CORR} (z.B. $40 \mu s$) addiert wird, um in S258 die exakte Hall-Länge t_H zu erhalten.

In S260 wird die augenblickliche Hall-Länge t_H in dem Ist-Hallwert t_i abgespeichert, damit der momentane Ist-Hallwert allen anderen Programmteilen (z.B. der Regelung) als Maß für die augenblickliche Drehzahl zur Verfügung steht.

In S262 wird die aktuelle Startzeit des Timers CNT_HL in t_B gesichert, so daß sie für die Berechnung von t_{TI} während der nächsten Hallzeit verfügbar ist.

Es folgt eine Überprüfung der Drehzahl, da erst ab einer vorgegebenen Minstdrehzahl n_{min} , z.B. 300 U/min, eine Zündwinkelverschiebung durchgeführt werden soll. Hierzu wird in S264 verglichen, ob $t_H > t_{SZW}$ ist. t_{SZW} (z.B. $49664 \mu s$, was $0xC200$ entspricht) ist die maximale Hall-Länge, bis zu der eine Zündwinkelverschiebung durchgeführt werden soll. Ist t_H größer als t_{SZW} , so ist der Motor zu langsam, und in S266 wird

mit $SZW := 0$ die Zündwinkelverschiebung ausgeschaltet.

In S268 wird der Kommutierungszeitpunkt t_{TI} , also der Zeitpunkt, zu dem ein Timer-Interrupt ausgelöst werden soll, berechnet. Hierzu wird in S268 ein Wert t_{ZW} , nämlich die Zeit, um die der Zeitpunkt der Kommutierung nach früh verschoben werden soll, subtrahiert, z.B. $200 \mu s$. Das kann ein konstanter Wert sein, oder auch ein Wert, der von einem Motorparameter abhängig ist. Über den Bus 30 (Fig. 14) kann dieser Wert t_{ZW} von außen verändert werden. Ist $t_{ZW} = 0$, so ist die Zündwinkelverschiebung abgeschaltet.

Die Zündwinkelberechnungsroutine ist nun abgearbeitet worden. Das Anforderungsbit FCT_ZWV (Fig. 15) wird in S270 auf 0 gesetzt, in S272 wird das Flag KD wieder auf 0 gesetzt, damit es für die folgende Hallzeit genutzt werden kann, und in S274 wird das Anforderungsbit FCT_RGL (Fig. 15) der Regelung des Motors gesetzt, so daß diese angefordert wird.

Die Hauptaufgaben der Zündwinkelberechnungsroutine gemäß Fig. 9 waren also das Bestimmen der Zeitdauer der vorhergehenden Hall-Länge (S258), das Berechnen des Kommutierungszeitpunkts für die folgende Hallzeit (S268), und das Anfordern der Regelung (S274).

Fig. 10 zeigt ein Flußdiagramm für eine beispielhafte Timer-Interruptroutine, welche zur Motorsteuerung dient und ausgelöst wird, wenn der in dem vorhergehenden Hall-Interrupt initialisierte und gestartete Timer CNT_HL auf 0 zurückgezählt hat, bevor der nächste Hall-Interrupt ausgelöst wird, vgl. Fig. 7A und 7B.

Beim Erreichen des Wertes 0 wird der Timer CNT_HL in S302 mit dem Wert t_{AR} des Autoreload-Registers AR geladen und erneut gestartet, da er gleichzeitig für die Berechnung der Hall-Länge t_H dient. Dieser Schritt wird von dem μC 11 bei Erreichen der 0 für diesen Zähler automatisch ausgeführt und ist nur zur Verdeutlichung in das Flußdiagramm aufgenommen worden.

In S304 wird anhand des Flags SZW überprüft, ob die Zündwinkelverschiebung aktiv ist. Ist sie nicht aktiv, so läuft der Motor langsamer als die minimale Drehzahl. Dies wird ersichtlich, da bei nicht aktiver Zündwinkelverschiebung, wenn der Timer-Interrupt stattgefunden hat, in der Hall-Interruptroutine in S214 das Autoreloadregister AR und der Timer CNT_HL auf die der minimalen Drehzahl n_{\min} entsprechende maximale Hall-Länge t_{\max} gesetzt werden. Findet trotzdem der Timer-Interrupt (T_{N+1} in Fig. 7) vor dem Hall-Interrupt (H_{N+1} in Fig. 7) statt, so ist die minimale Drehzahl n_{\min} nicht erreicht, und das Flag DE (Drehzahl Erreicht) wird auf 0 gesetzt und in S308 die Timer-Interruptroutine verlassen.

Bei aktiver Zündwinkelverschiebung ($SZW = 1$) wird von S304 nach S310 gesprungen, wo die beiden Ports OUT1 und OUT2 zum Beginn der Kommutierungslücke auf 0 gesetzt werden.

Die Schritte S312 bis S316 bilden eine Programmschleife, welche eine ausreichend lange Kommutierungslücke (t_G in Fig. 21) bewirkt. Hierzu wird in S312 einem Zähler DEL_CNT ein Verzögerungswert t_{DEL} zugeordnet, z.B. die Zahl 5. In S314 wird der Zähler DEL_CNT um 1 dekrementiert und in S316 wird überprüft, ob DEL_CNT schon den Wert 0 erreicht hat, die Verzögerungsschleife also vollständig abgearbeitet ist. Falls nicht, wird wieder nach S314 zurückgesprungen und die Schleife setzt fort. Wenn ein Durchlauf der Schleife z.B. $10 \mu\text{s}$ benötigt, so erhält man mit den oben genannten Werten eine Verzögerung von $50 \mu\text{s}$, während der die Ports OUT1 und OUT2 beide das Ausgangssignal 0 haben, was die Kommutierungslücke t_G bewirkt.

Anschließend findet in gewohnter Weise die Kommutierung statt, wie bereits in Fig. 8A bei S218 bis S224 beschrieben. Ist in S318 der Hallwert $HALL = 1$, so wird in S320 OUT1 auf HIGH gesetzt, ansonsten wird in S322 OUT2 auf HIGH gesetzt. Die Kommutierung ist also - mit Zündwinkelverschiebung - im Timer-Interrupt und vor dem Hall-Interrupt durchgeführt worden, also in Fig. 7 zum Zeitpunkt T_{N+1} vor dem Hall-

Interrupt H_{N+1} .

In S324 wird das Flag KD (Kommutierung Durchgeführt) auf 1 gesetzt, damit die Hall-Interruptroutine und die Zündwinkelberechnungsroutine dies erkennen können, und daraufhin wird die Hall-Interruptroutine in S326 verlassen.

Fig. 11 zeigt beispielhaft eine Darstellung des Signals HALL, der Zeitpunkte der Hall-Interrupts H_N und der Timer-Interrupts T_N beim Hochlauf eines erfindungsgemäßen Motors. Die Hallzeiten t_{H_N} , welche jeweils zwischen den Hall-Interrupts H_{N-1} und H_N stehen, werden immer kürzer, da der Motor beschleunigt. Es tritt nicht während jeder Hallzeit ein Timer-Interrupt auf. In diesem Beispiel wird in t_{H2} und den folgenden Hallzeiten eine Zündwinkelberechnung ausgeführt, aufgrund der Beschleunigung des Motors treten in diesem Beispiel jedoch nur die Timer-Interrupts T_1 , T_{10} und T_{11} auf, da die Drehzahl erst ab t_{H8} einigermaßen konstant wird.

In Fig. 12A und 12B ist der Verlauf der Fig. 11 in vergrößertem Maßstab dargestellt und mit zusätzlichen Erläuterungen versehen.

Fig. 12A und 12B zeigen einen zeitlichen Beispielverlauf eines Starts eines erfindungsgemäßen Motors. Dieser soll das Zusammenspiel des Hall-Interrupts, der Zündwinkelberechnung und des Timer-Interrupts verdeutlichen.

In Fig. 12A und 12B werden folgende Variablen verwendet:

DE:	Flag "Drehzahl Erreicht"
KD:	Flag "Kommutierung Durchgeführt"
SZW:	Flag "Start ZündwinkelVerschiebung"
t_{AR} :	Wert im Autoreloadregister AR (Fig. 1)
CNT_HL:	Timer für Timer-Interrupt und Berechnung der Hall-Länge
t_E :	Stoppzeit (Zeit des Endes)
t_H :	Hall-Länge (Hallzeit)

t_B : Startzeit (Zeit des Beginns)
 OUT1: Port des μC 11 zur Bestromung des Motors
 OUT2: Port des μC 11 zur Bestromung des Motors

Das Signal HALL am Eingang Hall des μC 11 ist eingetragen. Die Hall-Längen t_H stehen jeweils zwischen den sie umschließenden Hall-Interrupts, z.B. $t_{H_2} = 40$ ms zwischen H_1 und H_2 , $t_{H_3} = 35$ ms zwischen H_2 und H_3 , etc. Hall-Interrupts sind jeweils mit H_N , Timer-Interrupts mit T_N und Ausführungen der Zündwinkelberechnung mit B_N angezeigt, wobei N die Indexzahl der zugehörigen Hall-Länge t_{H_N} ist.

Unter dem Signal HALL befinden sich einige wichtige Variablen, welche in dem in dem μC 11 ablaufenden Programm verwendet werden. Die Angabe von Zeiten erfolgt aus Platzgründen in ms, wohingegen programmintern mit μs -Zeiten gearbeitet wird. Beim Start des Motors werden einige der Variablen initialisiert (Spalte INIT). t_{TI} und t_B werden mit 50 ms initialisiert. Dies entspricht einer Drehzahl von 300 U/min, und erst ab dieser Drehzahl wird in diesem Ausführungsbeispiel die Zündwinkelverschiebung eingeschaltet. DE und KD werden auf 0 gesetzt, da die erforderliche Drehzahl anfangs noch nicht erreicht ist, und SZW ist auch mit 0 initialisiert, da die Zündwinkelverschiebung ausgeschaltet ist.

Bei dem ersten Hall-Interrupt H_0 werden das Autoreload-Register AR und der Timer CNT_HL das erste Mal mit 50 ms geladen, und der Timer CNT_HL wird gestartet. Die Hall-Länge t_{H_1} beträgt 60 ms, so daß der Timer-Interrupt T1 vor dem Hallinterrupt H1 auftritt.

Da die Zündwinkelverschiebung ausgeschaltet ist ($SZW = 0$), wird in der Timer-Interruptroutine als einziges der Wert DE auf 0 gesetzt (S306 in Fig. 10). Dies zeigt dem Hall-Interrupt an, daß der Motor noch nicht die Minstdrehzahl n_{min} erreicht hat, da die Hall-Länge t_{H_1} größer als die maximale Hall-Länge t_{max} ist, die der Minstdrehzahl n_{min} entspricht. Der Timer CNT_HL wird automatisch mit dem Autoreload-Wert t_{AR} von 50 ms aufgeladen und gestartet.

Durch den Hall-Interrupt H_1 wird die Hall-Interruptroutine (Fig. 8) aufgerufen. Die Stoppzeit t_E von 40 ms, die sich daraus ergibt, daß zwischen dem Timer-Interrupt T_1 , bei dem der Timer CNT_HL erneut auf 50 ms gesetzt wurde, und dem Hall-Interrupt H_1 10 ms vergangen sind, wird gesichert. Da $DE = 0$ ist, wird die Kommutierung zum Zeitpunkt H_1 durchgeführt, t_{AR} und CNT_HL werden mit 50 ms geladen und der Timer CNT_HL wird gestartet. DE wird auf 1 gesetzt. Es wird keine Berechnung angefordert.

Während der Hall-Länge t_{H2} erreicht der Motor erstmals im Durchschnitt die Minstdrehzahl von 300 U/min, so daß der Hall-Interrupt H_2 ausgelöst wird, bevor der Timer CNT_HL auf Null heruntergezählt hat. Es findet also kein Timer-Interrupt T_2 statt.

In der Hall-Interruptroutine beim Hallwechsel H_2 wird die Stoppzeit t_E des Timers CNT_HL von 10 ms gesichert. DE hat dadurch, daß während der Hall-Länge t_{H2} kein Timer-Interrupt aufgetreten ist, seinen Wert $DE = 1$ behalten. Dadurch erkennt die Hall-Interruptroutine, daß die Drehzahl von 300 U/min überschritten wurde. In der Hall-Interruptroutine wird die Zündwinkelberechnungsroutine (Fig. 9) angefordert und die Zündwinkelverschiebung wird durch $SZW := 1$ aktiviert. Da innerhalb der Hall-Länge t_{H2} noch nicht kommutiert wurde ($KD = 0$), wird die Kommutierung während der Hall-Interruptroutine zum Zeitpunkt H_2 durchgeführt. Das Autoreload-Register AR und der Timer CNT_HL werden mit dem beim Start des Motors auf 50 initialisierten Wert t_{TI} geladen, da noch keine Zündwinkelberechnung durchgeführt wurde, und der Timer CNT_HL wird erneut gestartet.

Während der Hall-Länge t_{H3} wird das erste Mal die Berechnung der Zündwinkelverschiebung ausgeführt. Es ist kein Timer-Interrupt aufgetreten ($KD = 0$), so daß sich die während der Hall-Länge t_{H3} berechnete Hall-Länge t_{H2} aus $t_B = 50$ ms und $t_E = 10$ ms zu $t_H = 40$

ms ergibt. Hieraus ergibt sich bei einer Zündwinkelverschiebungszeit von $t_{ZW} = 0,2$ ms eine Timer-Interruptzeit von 39,8 ms. Die Timerstartzeit der Hallzeit t_{H_3} wird in t_B gesichert.

Die Hall-Interruptroutine zum Hall-Interrupt H_3 läuft analog zu der Hall-Interruptroutine zum Hall-Interrupt H_2 ab, da der Motor weiterhin beschleunigt und der Hall-Interrupt auftritt, bevor der Timer CNT_HL den Wert 0 erreicht. Es tritt deshalb in dieser Hallzeit kein Timer-Interrupt auf. Dies geschieht ebenso bei den Hall-Interrupts H_4 , H_5 , H_6 und H_7 . Die Zündwinkelberechnungsroutinen B_4 , B_5 , B_6 und B_7 werden ebenfalls in der jeweiligen Hallzeit aufgerufen.

In der Hallzeit t_{H_8} erreicht der Motor schließlich seine Solldrehzahl von 1500 U/min, die einer Hall-Länge von 10 ms entspricht. Da bei diesem Beispiel die Timer-Interruptzeit t_{TI} für die Hallzeit t_{H_N} immer während der Hallzeit $t_{H_{N-1}}$ aus der Hall-Länge $t_{H_{N-2}}$ berechnet wird, ist ein "Nachlauf" von zwei Hallzeiten vorhanden, d.h. die erste Hallzeit, bei der der Timer CNT_HL mit der korrekten Timer-Interruptzeit t_{TI} gestartet ist, ist $t_{H_{10}}$, da die Hallzeit t_{H_8} die erste Hallzeit mit 10 ms war und das Ergebnis aus der Hall-Längenberechnung der Hallzeit von t_{H_8} erst in $t_{H_{10}}$ verwendet wird.

Während der Hallzeit $t_{H_{10}}$ wird die Zündwinkelberechnung B_{10} normal ausgeführt. Der Startwert t_{TI} für das Autoreload-Register AR und den Timer CNT_HL betrug während der Hall-Interruptroutine zu H_9 9,8 ms.

Deshalb wird 9,8 ms nach dem Hall-Interrupt H_9 ein Timer-Interrupt T_{10} ausgelöst. Der Timer CNT_HL wird automatisch mit dem Wert t_{AR} (9,8 ms) aufgeladen und erneut gestartet. Die Zündwinkelverschiebung ist eingeschaltet ($SZW = 1$), so daß in der Timer-Interruptroutine (T_{10}) kommutiert wird. Das Flag KD wird auf 1 gesetzt, um der folgenden Hall-Interruptroutine zu H_{10} und der Zündwinkelberechnung anzuzeigen, daß kommutiert wurde.

In der Hall-Interruptroutine zum Hall-Interrupt H_{10} wird der Stoppwert des Timers CNT_HL in t_E gesichert, die Zündwinkelberechnungsroutine angefordert, das Autoreload-Register AR und der Timer CNT_HL geladen, und der Timer CNT_HL gestartet. Da die Kommutierung bereits in der Timer-Interruptroutine zum Timer-Interrupt T_{10} stattgefunden hat, wird nicht mehr kommutiert.

Die folgenden Hallzeiten $t_{H_{11}}$ usw. verlaufen wie $t_{H_{10}}$, falls sich Ist-drehzahl oder Soll-drehzahl des Motors nicht ändern.

Regelung des Motors

Fig. 13 zeigt den für Regelung und Antrieb des Motors wichtigen Teil der Schaltung. Gleiche oder gleich wirkende Teile wie in den vorhergehenden Figuren sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet wie dort und werden gewöhnlich nicht nochmals beschrieben.

Die Belegung der Anschlüsse des μC 11 ist wieder Fig. 3 zu entnehmen. Die Ausgänge OUT1 und OUT2 des μC 11 steuern die als H-Brücke 37 geschalteten npn-Transistoren 141, 142, 143 und 144.

Ein Ausgang RGL des μC 11 ist über einen Widerstand 123 an einen Kondensator 124 angeschlossen. Wird RGL auf HIGH gesetzt, so wird der Kondensator 124 aufgeladen, ist RGL auf LOW, so wird der Kondensator entladen, und ist RGL auf TRISTATE, so ist der Kondensator 124 von RGL abgekoppelt und hält seine Spannung. Ohne die Strombegrenzung 44, welche weiter unten beschrieben wird, könnte der Punkt 125 direkt mit dem Pluseingang des Komparators 120 verbunden werden.

Ist der npn-Transistor 150 nicht leitend, die Strombegrenzung 44 also inaktiv, so stellt sich über den Widerstand 126 an einem kleineren Kondensator 127 die gleiche Spannung wie die des Kondensators 124 ein. Über den Ausgang RGL des μC 11 kann also die Spannung an dem Pluseingang des Komparators 120 beeinflusst werden.

An dem Minuseingang des Komparators 120 liegt ein durch einen Dreiecksoszillator 35 erzeugtes Dreieckssignal an. Der Dreiecksoszillator 35 weist einen Komparator 130 auf. Vom Ausgang P3 des Komparators 130 führt ein Mitkopplungswiderstand 132 zu dessen Pluseingang, und ebenso führt ein Gegenkopplungswiderstand 131 vom Ausgang P3 des Komparators 130 zum Minuseingang des Komparators 130. Ein Kondensator 135 liegt zwischen dem Minuseingang des Komparators 130 und Masse 100. Der Ausgang des Komparators 130 ist ferner über einen Widerstand 133 mit +Vcc verbunden. Der Pluseingang des Komparators 130 ist über zwei Widerstände 134 und 136 mit +Vcc bzw. Masse 100 verbunden.

Zur Erläuterung der Wirkungsweise des Dreiecksgenerators 35 und der Steuerung des Ausgangs RGL des μC 11 durch den μC 11 wird auf DE198 36 882.8 (intern: D216) verwiesen.

Liegt die Spannung des Dreieckssignals am Minuseingang des Komparators 120 unter der des Referenzsignals am Pluseingang des Komparators 120, so ist der Ausgang OFF des Komparators 120 auf HIGH, und die unteren Transistoren 141 bzw. 143 können über die logischen UND-Glieder 147 bzw. 148 durch OUT1 bzw. OUT2 aus- und eingeschaltet werden. Liegt die Spannung des Dreieckssignals über der des Referenzsignals, so ist der Ausgang OFF des Komparators 120 auf LOW und damit kann die Statorwicklung 38 nicht bestromt werden.

Über die Spannung am Kondensator 124 und damit auch am Kondensator 127 wird also das sogenannte Tastverhältnis eingestellt, das Verhältnis der Dauer, die der Ausgang des Komparators 120 während einer Periode des Dreieckssignals auf HIGH ist zu einer ganzen Periode. Das Tastverhältnis kann zwischen 0 % und 100 % liegen. Ist die Motordrehzahl z.B. zu hoch, so wird der Kondensator 124 über RGL entladen und damit das Tastverhältnis verkleinert. Das Ganze wird als Pulsweitenmodulation (PWM) bezeichnet. Der Pullup-Widerstand 128 dient dazu, den Open-Collector-Ausgang OFF des Komparators 120 bei

HIGH auf +Vcc zu ziehen.

Um beim Einschalten den Motor starten zu können, wird der Kondensator 124 bei der Initialisierung eine vorgegebene Zeitdauer über RGL aufgeladen, damit die Spannung am Kondensator 127 den erforderlichen Mindestwert für das Einschalten des Komparators 120 und damit der Brücke 37 erreicht.

Eine Strombegrenzung 44 wird dadurch verwirklicht, daß der Strom in der Statorwicklung 38 über einen Meßwiderstand 140 zu Masse 100 fließt. Je höher der Strom durch den Widerstand 140 ist, desto höher ist die Spannung an ihm und damit auch das Potential am Punkt 149.

Erreicht das Potential an 149 einen bestimmten Wert, so wird der Transistor 150 leitend und reduziert die Spannung am Kondensator 127, und das Tastverhältnis am Ausgang des Komparators 120 wird dadurch kleiner. Der Widerstand 126 verhindert, daß der große Kondensator 124 bei einer Strombegrenzung ebenfalls entladen wird, und er beschleunigt die Strombegrenzung, da der kleine Kondensator 127 schneller entladen werden kann. Nach dem Ende der aktiven Strombegrenzung wird der kleinere Kondensator 127 durch den großen Kondensator 124 wieder aufgeladen und so auf dessen Spannung gesetzt. Der Widerstand 126 und der Kondensator 127 bewirken also, daß die Strombegrenzung 44 eine höhere Priorität als die Regelung besitzt.

Die Strombegrenzung 44 weist ein Filterglied aus einem Widerstand 151 und einem Kondensator 152 gegen Masse, gefolgt von dem npn-Transistor 150, der bei einer genügend hohen Spannung an seiner Basis den Pluseingang des Komparators 120 auf Masse 100 zieht, auf. Dahinter folgt ein weiteres aus den Widerständen 153 und 155 und dem Kondensator 154 bestehendes Siebglied.

Für die Beschreibung einer alternativen Form der Strombegrenzung wird auf DE 198 26 458.5 (intern: D215) verwiesen. Sie kann wie dort auch mit Hilfe eines Komparators aufgebaut werden und programmgesteuert sein.

EEPROM-Funktion

Fig. 14 zeigt den Ausschnitt der Schaltung, der das EEPROM 26 und das Businterface 30 betrifft. Die Pinbelegung des μC 11 ist wieder Fig. 3 zu entnehmen. Gleiche oder gleich wirkende Teile wie in den vorhergehenden Figuren sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet wie dort. Das EEPROM 26 ist z.B. vom Typ "2-Wire Serial CMOS EEPROM AT24C01A" (ATMEL)

Das EEPROM 26 erhält an seinem Dateneingang SDA das Signal ESDA (Fig. 2) des μC 11 und an seinem Eingang SCL das Signal ESCL. Beide Leitungen sind über Widerstände 172, 173 mit +Vcc verbunden.

Der Schreibschutzeingang WP des EEPROM 26 ist mit dem Pin CS (Chip Select) des μC 11 verbunden. Ist CS auf HIGH, so ist das EEPROM 26 schreibgeschützt, ist CS auf LOW, so können Daten in das EEPROM 26 geschrieben werden. Die Anschlüsse VSS, A0, A1 und A2 des EEPROM 26 sind mit Masse 100 verbunden, und der Anschluß VCC des EEPROM 26 mit +Vcc.

Die Leitungen ESDA und ESCL stellen also den seriellen Bus zwischen dem μC 11 und dem EEPROM 26 dar, der hier als IIC-Bus betrieben wird.

Normalerweise wird das EEPROM 26 in der Fabrik einmal über das Businterface 30 programmiert, eine Neuprogrammierung ist jedoch jederzeit möglich. Alternativ kann der Motor auch ohne den Bus 30 betrieben werden, wobei das EEPROM 26 dann mittels einer bekannten Vorrichtung programmiert wird, ehe man es in den Motor einsetzt.

Das Businterface 30 arbeitet mit einem IIC-Bus. Es verfügt über eine Datenleitung DATA mit einem Anschluß 160, die über einen Widerstand 162 an den Anschluß SDA des μC 11 angeschlossen ist. Vom Anschluß SDA führt ein Widerstand 165 zu +Vcc und ein Kondensator 167 zu Masse 100. Außerdem ist der Anschluß SDA mit dem Emitter eines pnp-Transistors 168 verbunden, dessen Kollektor mit Masse 100 und dessen

Basis über einen Widerstand 169 mit dem Anschluß N16 des μC 11 verbunden sind.

Weiterhin hat das Businterface 30 eine Taktleitung CLOCK mit einem Anschluß 161, die über einen Widerstand 163 an den Anschluß SCL des μC 11 angeschlossen ist. Vom Anschluß SCL des μC 11 führt ein Widerstand 164 zu +Vcc und ein Kondensator 166 zu Masse 100.

Die Schaltung mit dem pnp-Transistor 168 dient dazu, sowohl den Ausgang N16 als auch den Eingang SDA des μC 11 mit der bidirektionalen Leitung DATA des IIC-Buses zu verbinden.

Für eine weitergehende Beschreibung des EEPROM 26, des Businterfaces 30 und deren Programmierung wird auf DE 198 26 458.5 (intern: D215) verwiesen.

Mit dem Businterface 30 ist es möglich, Werte im EEPROM 26 zu verändern. So kann z.B. die minimale Drehzahl n_{min} , ab der die Kommutierung mit Zündwinkel eingeschaltet werden soll, durch das Setzen des Werts t_{SZW} im EEPROM verändert werden und somit die Konfiguration des Motors geändert werden. Ebenso geändert werden kann z.B. die Zündwinkelzeit t_{ZW} .

Funktionsmanager

Fig. 15 zeigt ein Flußdiagramm mit einer möglichen Ausführungsform des in dem μC 11 ablaufenden Gesamtprogramms. Nach dem Einschalten des Lüfters wird in dem μC 11 ein interner Reset ausgelöst. In S600 erfolgt die Initialisierung des μC 11. Es werden z.B. Parameter aus dem EEPROM 26 in das RAM des μC 11 übertragen.

Nach der Initialisierung erfolgt ein Sprung in den bereits erwähnten Funktionsmanager 190, der in S602 beginnt. Dieser regelt den Ablauf der einzelnen Unterprogramme und bestimmt deren Prioritäten.

Als erstes werden die Funktionen abgearbeitet, die zeitkritisch sind und

bei jedem Durchlauf abgearbeitet werden müssen. Hierzu zählt die Kommunikationsfunktion COMM in S602, da der IIC-Bus 30 (Fig. 14) z.B. bei einer Baudrate von 2 k alle 250 μ s überprüft werden muß.

Fig. 16 zeigt ein beispielhaftes Funktionsregister 195, in dem für jede weitere Funktion ein Bit reserviert ist.

In diesem Beispiel ist das Funktionsregister 195 1 Byte groß, und es sind, von dem niederwertigsten Bit (LSB) beginnend, die folgenden Anforderungsbits für die unten erklärten anforderbaren Funktionen definiert:

- Bit1: FCT_ZWV für die Zündwinkelberechnungsroutine,
- Bit2: FCT_RGL für eine Regelroutine beliebiger Art.

Die restlichen Bits sind für zusätzliche anforderbare Funktionen reserviert, die bei Bedarf in den Funktionsmanager 190 eingefügt werden können.

Soll eine bestimmte anforderbare Funktion durch eine andere Funktion oder eine Interruptroutine angefordert werden, so wird das Bit der anzufordernden Funktion auf 1 gesetzt. Das nächste Mal, wenn der Funktionsmanager 190 bei einem Durchlauf keine andere anforderbare Funktion mit höherer Priorität aufgerufen hat, so wird diese Funktion ausgeführt.

Ist eine angeforderte Funktion abgearbeitet, so setzt sie ihr Bit (Fig. 16) wieder auf 0, z.B. FCT_RGL := 0.

In Fig. 15 wird nach S602 in einer vorbestimmten Reihenfolge, von der wichtigsten anforderbaren Funktion ausgehend, jeweils geprüft, ob deren Anforderungsbit gesetzt ist. Ist dies bei einer Funktion der Fall, so wird diese ausgeführt, und daraufhin wird wieder an den Anfang S602 des Funktionsmanagers 190 gesprungen. Die Reihenfolge der Überprüfung des Funktionsregisters 195 gibt die Priorisierung der anforderbaren Funktionen vor. Je höher eine solche Funktion in dem Funktionsmanager 190 steht, desto höher ist ihre Priorität.

Die aufgerufenen Funktionen müssen so kurz sein, daß ihre Abarbeitungszeit, addiert zu den immer ausgeführten Funktionen (hier S602) und den Interruptroutinen, nie größer als die maximal zulässige Zeit zwischen zwei Abfragen des IIC-Buses 30 ist. In dem obigen Beispiel mit einer Baudrate von 2 k und einer maximal zulässigen Zeit von 250 μ s liegt die maximale Abarbeitungszeit für die in S610 oder S614 aufgerufenen Funktionen bei ca. 100 μ s.

In S610 wird überprüft, ob das Anforderungsbit FCT_ZWV für die Zündwinkelverschiebung gesetzt ist, also den Wert 1 hat. Ist es gesetzt, so wird nach S612 gesprungen, und die Zündwinkel-Berechnungsroutine (Fig. 9 oder 19) wird ausgeführt. Vor der Beendigung setzt die Zündwinkel-Berechnungsroutine ihr Anforderungsbit FCT_ZWV zurück und fordert in S274 durch Setzen des Anforderungsbits FCT_RGL die Regelroutine an.

War in S610 FCT_ZWV nicht gesetzt, so wird in S614 überprüft, ob FCT_RGL gesetzt ist. Ist dies der Fall, so wird in S618 eine Regelroutine zur Regelung der Motordrehzahl aufgerufen.

Waren keine der in S610 und S614 überprüften Bits gesetzt, so wird wieder nach S602 gesprungen, und die Funktionen, die bei jedem Durchlauf des Funktionsmanagers 190 ausgeführt werden, werden erneut aufgerufen.

Fig. 15 zeigt auch bei 620 symbolisch einen Hall-Interrupt, der die höchste Priorität L1 (Level 1) hat. Ein Hall-Interrupt hat diese hohe Priorität, weil die genaue Erfassung der Hall-Signale für einen ruhigen Lauf des Motors 39 sehr wichtig ist. Er unterbricht alle Prozesse des Funktionsmanagers 190, wie durch einen Pfeil 621 symbolisiert.

Unter dem Hall-Interrupt ist bei 622 ein Timer-Interrupt dargestellt. Dieser hat eine niedrigere Priorität L2 und unterbricht alle Prozesse unter ihm, wie durch den Pfeil 623 angedeutet. Eine exakte Kommutierung ist ebenfalls sehr wichtig für einen ruhigen Lauf des Motors, und deshalb hat der Timer-Interrupt 622 die zweithöchste Priorität.

Wenn Hall-Interrupt und Timer-Interrupt gleichzeitig angefordert würden, würden sie nach der Reihenfolge ihrer Priorität abgearbeitet.

Die nächstniedere Priorität L3 hat die Funktion COMM, da bei der Kommunikation über den Bus 30 keine Daten verlorengehen dürfen.

Die nächstniedere Priorität L4 hat die Funktion ZWV, die in S230 angefordert werden kann und die in Fig. 9 (oder 19) dargestellt ist.

Die niedrigste Priorität L5 hat die Funktion RGL (S614), da sich die Drehzahl eines Motors - wegen dessen mechanischer Trägheit - gewöhnlich langsam ändert, so daß die Regelfunktion meist nicht zeitkritisch ist. Ggf. kann man aber auch die Reihenfolge der Schritte S610 und S614, und damit deren Priorität, vertauschen.

Auf diese Weise gelingt es, die verschiedenen "Bedürfnisse" des Motors 39 in eine vorgegebene Hierarchie einzuordnen und die Ressourcen des μ C 11 optimal für den Betrieb des Motors zu nutzen.

Zündwinkelverschiebung unter Berücksichtigung von Magnetisierungsfehlern des Rotors 39

Fig. 17 zeigt einen vierpoligen Außenrotor 39. Dieser hat vier radial magnetisierte Pole 534, 535, 536, 537, die in der dargestellten Weise durch (symbolisch angedeutete) Übergangsbereiche 530 bis 533 voneinander getrennt sind. Es wird als Beispiel eine sogenannte trapezförmige Magnetisierung angenommen, vgl. Fig. 18A.

Wegen der Inhomogenitäten des Magnetmaterials, und wegen unvermeidbarer Fehler in der (nicht dargestellten) Magnetisierungsvorrichtung, ist der Verlauf der Magnetflußdichte besonders in den Übergangsbereichen 530 bis 533 nicht exakt definiert, sondern von Rotor zu Rotor etwas verschieden.

Nimmt man an, daß sich der Rotor 39 in Richtung des Pfeiles 540 am

Hallgenerator 40 vorbeidreht, so erhält man am Hallgenerator 40 eine Hallspannung u_H , deren Verlauf in Fig. 18A - wegen der Anschaulichkeit stark übertrieben - dargestellt ist. Der Teil 534' dieser Hallspannung u_H wird vom Rotorpol 534 (Nordpol) erzeugt und ist etwas zu kurz, d.h. die Nulldurchgänge dieser Hallspannung liegen bei 0° el. und etwa 170° el. statt - wie gewünscht - bei 0° el. und exakt 180° el.

Der Teil 535' der Hallspannung wird vom Rotorpol 535 erzeugt. Er beginnt bei etwa 170° el., endet bei etwa 370° el., und ist zu lang.

Der Teil 536' wird vom Rotorpol 536 erzeugt und erstreckt sich von etwa 370° el. bis etwa 550° el., hat also zwar die richtige Länge, aber nicht die richtige Phasenlage.

Der Teil 537' wird vom Rotorpol 537 erzeugt und erstreckt sich von etwa 550° el. bis 720° el., ist also etwas zu kurz. 720° el. entspricht bei diesem Motor wieder 0° el., weil sich der Rotor 39 dann einmal voll gedreht hat, und der Spannungsverlauf wiederholt sich dann, was in Fig. 18A bei 534'A angedeutet ist.

Fig. 18B zeigt das zugehörige Signal HALL, welches ein Spiegelbild der eben erläuterten Magnetisierungsfehler ist, d.h. sein erster Abschnitt 534" ist zu kurz, sein zweiter Abschnitt 535" ist zu lang, sein dritter Abschnitt 536" ist phasenverschoben, und sein vierter Abschnitt 537" ist zu kurz. Nach dem Winkel 720° el. beginnt ein Abschnitt 534"A, der - bei konstanter Drehzahl - dem Abschnitt 534" entspricht.

Die Abschnitte 534" und 537" täuschen also eine zu hohe Drehzahl vor, und der Abschnitt 535" eine zu niedrige Drehzahl.

Wird der Abschnitt 534" verwendet, um die Zeit t_{TI} für den Abschnitt 536" zu berechnen, wie das bei dem vorhergehenden Ausführungsbeispiel erläutert wurde, so wird im Abschnitt 536" zu früh kommutiert.

Wird der Abschnitt 535" verwendet, um die Zeit t_{TI} für den Abschnitt 537" zu berechnen, so wird dort zu spät kommutiert.

Dies kann zu einem unregelmäßigen Lauf des Motors und zu erhöhten Motorgeräuschen führen.

Deshalb wird nach der Erfindung bevorzugt die Hall-Länge eines Abschnitts des Signals HALL dazu verwendet, um die Zeit t_{TI} für den eine Rotorumdrehung späteren Abschnitt zu berechnen, wie das in Fig. 5 mit den Bezugszeichen 304, 306, 308 für einen vierpoligen Rotor symbolisch an einem Beispiel dargestellt ist. Z.B. wird in Fig. 18B die Hall-Länge t_{HN} des Abschnitts 534" dazu verwendet, um die Zeit t_{TI} für den Abschnitt 534"A zu berechnen, wie das symbolisch und beispielhaft bei 542, 544, 546 dargestellt ist. Dann treten diese Fehler nicht auf, denn bei konstanter Drehzahl sind z.B. die Abschnitte 534" und 534"A identisch, so daß sich Fehler nicht addieren können.

Fig. 19 zeigt eine entsprechende geänderte Zündwinkelberechnungsroutine für die Kommutierung mit Zündwinkelverschiebung, wobei in der beschriebenen bevorzugten Weise eine Kompensation der Magnetisierungsfehler des Rotors 39 stattfindet. Alle Teile, die bereits in Fig. 9 vorgekommen sind, erhalten die gleichen Bezugszeichen wie dort und werden deshalb nicht nochmals beschrieben. Der Leser wird auf die dortige Beschreibung verwiesen.

Im Schritt 268' werden anstatt der direkten Berechnung des Timerstartwerts t_{TI} (vgl. S268 in Fig. 9) zwei Variablen t_4 und t_3 zusätzlich verwendet, um die berechneten Timerstartwerte t_{TI} zwischenzuspeichern. Dem für die folgende Hallzeit t_{HN} verwendeten Timer Startwert t_{TI} wird der aus der Hall-Länge t_{HN-4} berechnete Timerstartwert t_4 zugeordnet.

Anschließend werden die berechneten Timerstartwerte verschoben, so daß sie für die nächste Zündwinkelberechnung in der richtigen Variablen stehen. Der Wert t_3 , der aus der Hall-Länge t_{HN-3} berechnet wurde, wird

nach t_4 verschoben, und der in der aktuellen Zündwinkelberechnung berechnete Timer Startwert ($t_H - t_{ZW}$), wird in t_3 gespeichert. (Hierbei ist t_H die Hall-Länge t_{HN-2}).

Weiterhin ist der Schritt S267 neu eingefügt. Die Speichervariablen t_4 und t_3 werden beim Ausschalten der Zündwinkelverschiebung (in S266: SZW: = 0) auf den Wert 50.000 gesetzt, damit sie einen definierten Zustand haben.

Fig. 20 zeigt eine beispielhafte Hall-Interruptroutine für eine erfindungsgemäße Kommutierung ohne Zündwinkelverschiebung, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist. Bei jedem Hall-Interrupt (Y in Fig. 4) wird das gerade ablaufende Programm unterbrochen, die sogenannte Umgebung des μC 11 (z.B. der Stapelzeiger [stack pointer] und die Register) wird abgespeichert, und die zu dem Interrupt gehörige Interrupt-Routine wird aufgerufen. Wenn die Interrupt-Routine abgearbeitet ist, gibt sie einen Befehl RETI (Return From Interrupt). Daraufhin wird die Umgebung des μC 11 so, wie sie vor dem Interrupt war, wieder hergestellt, und das unterbrochene Programm arbeitet weiter.

In diesem Ausführungsbeispiel wird für die Messung der Hall-Länge HL (Fig. 4) ebenfalls der 16 Bit-Timer CNT_HL verwendet, der, beginnend bei einem vorgegebenen Startwert, fortlaufend herunterzählt und beim Erreichen von 0, wenn die Zählung fortgesetzt wird, wieder auf seinen maximalen Wert springt, sich also wie ein Ringzähler verhält. Dieser Timer ist auch hier Bestandteil des μC 11. Die Hall-Länge HL kann hier z.B. für eine Drehzahlregelung verwendet werden.

In S702 wird die Ist-Hall-Länge HL (vgl. Fig. 4) bestimmt. Ein aktueller Timerwert t_E (Fig. 4) wird aus dem Timer CNT_HL ausgelesen, und durch die Subtraktion eines gespeicherten "alten" Timerwerts t_O (Fig. 4: Der Zeitpunkt des vorhergehenden Timer-Interrupts Y) wird die Hall-Länge HL berechnet. Hierzu wird $t_E - t_O$ berechnet und von dem Ergebnis das Zweierkomplement gebildet. So erhält man immer die korrekte Zählerdifferenz, falls der Zähler nicht mehr als die Hälfte seines

maximalen Werts weitergelaufen ist.

Daraufhin wird der aktuelle Timerwert t_E in t_O gespeichert (S702). Die Auflösung des in diesem Ausführungsbeispiels verwendeten Timers CNT_HL ist 1 μs , die Hall-Länge HL liegt also in μs vor.

Ist z.B. $t_O = 45000$ und $t_E = 35000$, so erhält man eine Hall-Länge $HL = (45000 - 35000) = 10000$, was 10000 μs entspricht.

In den folgenden Schritten wird die Kommutierung ausgeführt. In S704 wird geprüft, ob $HALL = 1$ (HIGH) ist. Ist $HALL = 1$, so wird in S710 OUT2 auf LOW gesetzt. Jetzt sind OUT1 und OUT2 auf LOW, und in S712 wird eine zeitliche Kommutierungslücke eingefügt, um bei der Kommutierung einen Kurzschluß in der Brückenschaltung 37 zu verhindern. Die Kommutierungslücke hat z.B. eine Dauer von 50 μs . In S714 wird OUT1 auf HIGH gesetzt. In S716 wird schließlich der Port Hall des μC 11 konfiguriert, bei welcher Flanke er einen Hall-Interrupt HALL_INT auslösen soll. Die Flanke kann entweder so eingestellt werden, daß bei dem Übergang HIGH nach LOW (fallende Flanke) ein Interrupt ausgelöst wird, oder aber bei dem Übergang von LOW nach HIGH (steigende Flanke). Da in dem Zweig S710 bis S716 das Hall-Signal auf HIGH ist, muß der Port HALL auf einen Interrupt bei fallender Flanke, also HIGH nach LOW eingestellt werden, damit beim nächsten Hall-Wechsel wieder ein Hall-Interrupt ausgelöst wird. Dies geschieht in S716.

Ist in S704 $HALL = 0$ (LOW), so geschieht in S720, S722, S724 analog die umgekehrte Kommutierung, und bei S726 das umgekehrte Setzen von HALL_INT. - In S730 wird die Hall-Interruptroutine gemäß Fig. 20 verlassen.

Fig. 21 zeigt schematisch den Ablauf der Kommutierung bei $n > 300$ U/min, z.B. bei 2.000 U/min, also mit Zündwinkelverschiebung.

Bei Fig. 21A ist das Rotorstellungssignal HALL dargestellt, das jeweils an den Stellen H_N , H_{N+1} , H_{N+2} einen rotorstellungsabhängigen Interrupt (Fig.

8) auslöst, also einen Hall-Interrupt, wie in Fig. 4 bei Y angegeben.

Beginnend beim Hall-Interrupt H_N wird durch den Timer CNT_HL die Zeit t_{TI} gemessen, die nach der Gleichung (6) aus den Werten t_{HN} und t_{ZW} berechnet wurde. Der Wert t_{ZW} kann, wie bereits angegeben, über den Bus 30 geändert werden.

Zum Zeitpunkt T_{N+1} erreicht der Timer CNT_HL den Wert 0 und löst eine Motorsteuerungs-Interruptroutine gemäß Fig. 10 aus, also einen Timer-Interrupt.

Gemäß S310 in Fig. 10 werden zum Zeitpunkt T_{N+1} die Signale OUT2 (Fig. 21B) und OUT1 (Fig. 21C) beide zu Null gemacht, d.h. die Wicklung 38 wird von der Stromzufuhr getrennt, und nach einer Kommutierungslücke t_G (bewirkt durch die Programmschritte S312, S314, S316) wird bei S322 das Signal OUT1 auf HIGH gesetzt, da $HALL = 1$ ist, während OUT2 auf LOW bleibt, wie im Schritt S310 gespeichert. OUT1 = HIGH bedeutet, daß in Fig. 1 die Transistoren 141 und 144 leitend werden.

Ebenso werden zum Zeitpunkt T_{N+2} durch den Schritt S310 der Routine gemäß Fig. 10 die beiden Signale OUT1 und OUT2 auf LOW gesetzt, und anschließend wird nach der Kommutierungslücke t_G der Wert OUT2 auf HIGH gesetzt, da $HALL = 0$ ist, vgl. die Schritte S318, S322 der Fig. 10, während der Wert OUT1 den Wert LOW beibehält, der im Schritt S310 gespeichert wurde. Dadurch werden in Fig. 1 die Transistoren 142 und 143 leitend.

Fig. 22 zeigt unten das Signal HALL, und oben den Strom i_M (Fig. 1) in der einzigen Statorwicklung 38. Bei Fig. 22 ist die Zündwinkelverschiebung ausgeschaltet, d.h. $t_{ZW} = 0$. Man erkennt, daß sich nach einer Kommutierung zum Zeitpunkt H_N (Änderung des Signals HALL) der Strom i_M nur langsam ändert. Er erreicht deshalb in diesem Fall nur eine niedrige Amplitude, d.h. der Motor M erzeugt nur eine niedrige Leistung.

Fig. 23 zeigt wieder unten das Signal HALL, und darüber den Strom i_M

(Fig. 1), aber mit verfrühter Kommutierung ("Frühzündung"), d.h. der Strom i_M wird um die Zeit t_{ZW} früher als der Hallwechsel H_N kommutiert. Man erkennt deutlich, daß sich der Strom i_M nach der Kommutierung sofort sehr rasch ändert und eine wesentlich höhere Amplitude erreicht als bei Fig. 22, d.h. der Motor M erzeugt in diesem Fall eine höhere Leistung und kann deshalb eine höhere Drehzahl erreichen. Die Kommutierung liegt bei Fig. 23 etwa 15° el. vor einem Wechsel des Signals HALL.

Es folgt eine Tabelle mit typischen Beispielen für die Werte der verwendeten Bauteile:

Kondensatoren:

135	1,5 nF
127, 152	10 nF
99, 110, 166, 167	33 nF
154	100 nF
Tantalkondensator 124	3,3 μ F

Widerstände:

140	3 Ω
162, 163	47 Ω
153, 155	1 k Ω
133, 136	2,2 k Ω
106	3,3 k Ω
164, 165	4,7 k Ω
123, 131, 132	10 k Ω
172, 173	22 k Ω
114, 126	33 k Ω
134	47 k Ω
101, 112, 128, 169	100 k Ω
nnp-Transistor 150	BC846
pnp-Transistor 168	BC856B
Komparatoren 108, 120, 130	LM2901D
Hallsensors 40	HW101A
EEPROM 26	2-Wire Serial CMOS EEPROM AT24C01A (ATMEL)
Mikrocontroller 11	COP842CJ (Nat. Semicond.)

Patentansprüche

1. Elektronisch kommutierter Motor mit einem Stator, einem Rotor (39), und mit einem zur Steuerung der Kommutierung des Motors dienenden programmgesteuerten Mikroprozessor oder Mikrocontroller (11), im folgenden Mikroprozessor genannt,
mit einer Vorrichtung zur Erfassung einer der Drehzahl des Rotors (39) im wesentlichen umgekehrt proportionalen Zeitgröße (t_H),
mit einer Vorrichtung zur Berechnung einer von dieser Zeitgröße (t_H) abhängigen Zeit (t_{TI}),
mit einer Vorrichtung zur Auslösung einer Motorsteuerungs-Interruptroutine (Fig. 10) in einem zeitlichen Abstand (t_{TI}) von einer vorgegebenen Rotorstellung, welcher Abstand der von der erfaßten Zeitgröße (t_H) abhängigen Zeit (t_{TI}) entspricht,
wobei diese Motorsteuerungs-Interruptroutine Programmschritte (S310, S318, S320, S322) zum Bewirken einer Kommutierung des Motors enthält.
2. Motor nach Anspruch 1, bei welchem die Motorsteuerungs-Interruptroutine (Fig. 10) Programmschritte (S304, S306) enthält, welche das Bewirken einer Kommutierung verhindern, wenn die von der erfaßten Zeitgröße abhängige Zeit (t_{TI}) größer ist als eine Zeitspanne (t_H), die der Rotor (39) aktuell zum Durchlaufen eines vorgegebenen Winkelwegs benötigt.
3. Motor nach Anspruch 2, mit einer Vorrichtung, welche an vorgegebenen Rotorstellungen eine rotorstellungsabhängige Interruptroutine (Fig. 8) auslöst.
4. Motor nach Anspruch 3, bei welchem zur Erfassung der der Drehzahl des Rotors im wesentlichen umgekehrt proportionalen Zeitgröße ein von den rotorstellungsabhängigen Interruptroutinen (Fig. 8) steuerbarer Timer (CNT_HL) vorgesehen ist.
5. Motor nach Anspruch 4, bei welchem der Timer (CNT_HL) auch zur

Auslösung einer Motorsteuerungs-Interruptroutine (Fig. 10) ausgebildet ist.

6. Motor nach Anspruch 5, bei welchem der Timer (CNT_HL) während eines rotorstellungsabhängigen Interrupts (Fig. 8) mit einem ersten vorgegebenen Zählwert (t_B) ladbar ist, welcher dem von der erfaßten Zeitgröße (t_H) abhängigen zeitlichen Abstand (t_{TI}) entspricht, und welcher nach Zählen dieses ersten vorgegebenen Zählwerts einen Motorsteuerungs-Interrupt (Fig. 10) bewirkt.
7. Motor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem ein rotorstellungsabhängiger Interrupt (Fig. 8) eine höhere Priorität hat als ein Motorsteuerungs-Interrupt (Fig. 10).
8. Motor nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 bis 7, bei welchem der Timer (CNT_HL) während eines Motorsteuerungs-Interrupts (Fig. 10: S302) mit einem vorgegebenen Zählwert (t_{AR}) ladbar ist, und im Anschluß an diesen Ladevorgang eine Zählung bis zum nächsten rotorstellungsabhängigen Interrupt (Fig. 8) erfolgt, um durch Bildung der Differenz zwischen dem vorgegebenen Zählwert (t_{AR}) und dem Zählerstand (t_E) bei Erreichen des nächsten rotorstellungsabhängigen Interrupts (Fig. 8) einen zeitlichen Abstand (Fig. 7A: t_1) zwischen diesen Interruptvorgängen zu ermitteln.
9. Motor nach Anspruch 8, bei welchem zum Laden des vorgegebenen Zählwerts (t_{AR}) ein Autoreload-Register (AR) vorgesehen ist, welches den ersten vorgegebenen Zählwert (t_{TI}) speichert und dem Timer (CNT_HL) während des Motorsteuerungs-Interrupts (Fig. 10) als vorgegebenen Zählwert zuführt.
10. Verfahren zur drehzahlabhängigen Kommutierung eines elektronisch kommutierten Motors, welcher einen Stator und einen Rotor aufweist, ferner einen zur Steuerung seiner Kommutierung dienenden programmgesteuerten Mikroprozessor oder Mikrocontroller, im folgenden Mikroprozessor genannt, mit folgenden Schritten:
 - a) eine zur Drehzahl des Rotors im wesentlichen umgekehrt proportionale

Zeitgröße (t_H) wird ermittelt;

- b) aus dieser Zeitgröße (t_H) wird nach einer vorgegebenen Rechenregel ein Zahlenwert (t_{TI}) errechnet;
 - c) beginnend bei einer vorgegebenen ersten Rotorstellung wird eine diesem errechneten Zahlenwert entsprechende erste Zeit gemessen;
 - d) nach Ablauf dieser ersten Zeit wird eine Kommutierung (T_N) ausgelöst;
 - e) im Anschluß hieran wird bis zum Erreichen einer vorgegebenen zweiten Rotorstellung eine zweite Zeit (t_1) gemessen;
 - f) erste und zweite Zeit werden addiert, und ihre Summe wird, ggf. durch mindestens einen Korrekturfaktor korrigiert, als eine zur Drehzahl des Motors im wesentlichen umgekehrt proportionale Zeitgröße (t_H) verwendet.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei welchem die vorgegebene Rechenregel einen Subtraktionsschritt aufweist, bei welchem von der zur Drehzahl des Rotors im wesentlichen umgekehrt proportionalen Zeitgröße (t_H) eine vorgegebene Zeit (t_{ZW}) subtrahiert wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei welchem dann, wenn die dem errechneten Zahlenwert (t_{TI}) entsprechende erste Zeit größer ist als der zeitliche Abstand zwischen der vorgegebenen ersten Rotorstellung und der vorgegebenen zweiten Rotorstellung, der zeitliche Abstand zwischen diesen beiden Rotorstellungen direkt erfaßt und als eine zur Drehzahl des Motors im wesentlichen umgekehrt proportionale Zeitgröße (t_H) verwendet wird (S256).
13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 12, bei welchem die zur Drehzahl des Motors im wesentlichen umgekehrt proportionale Zeitgröße (t_H) mit einem einer Mindestdrehzahl entsprechenden vorgegebenen Wert (t_{SZW}) verglichen wird (Fig. 9: S264), ein dem Vergleichsresultat entsprechender logischer Wert (SZW) zwischengespeichert wird (Fig. 9: S266), und bei einem vorgegebenen Wert dieses logischen Werts (SZW) die nach Ablauf der ersten Zeit (t_{TI}) erfolgende Auslösung einer Kommutierung unterdrückt wird (Fig. 10: S304, S306).

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 13, bei welchem bei Erreichen einer vorgegebenen Rotorstellung ein rotorstellungsabhängiger Interrupt mit einer Interruptroutine (Fig. 8A, 8B) ausgeführt wird, zu deren Beginn ein zur Zeitmessung dienender Timer (CNT_HL) angehalten (S202) und sein augenblicklicher Wert in einer Variablen (t_E) gespeichert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, bei welchem in der rotorstellungsabhängigen Interruptroutine der zur Zeitmessung dienende Timer (CNT_HL) zeitlich nach seinem Anhalten (S202) mit einem zuvor nach der vorgegebenen Rechenregel berechneten Zahlenwert (t_{TI}) geladen und dann gestartet wird (Fig. 8B: S238).
16. Verfahren nach Anspruch 14 und 15, bei welchem die Zeitspanne zwischen dem Anhalten des zur Zeitmessung dienenden Timers (CNT_HL) und seinem Starten als Korrekturfaktor (t_{CORR}) verwendet wird, wenn die zur Drehzahl des Motors im wesentlichen umgekehrt proportionale Zeitgröße (t_H) ermittelt wird.
17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 16, bei welchem die dem errechneten Zahlenwert (t_{TI}) entsprechende erste Zeit, welche ab einer vorgegebenen ersten Rotorstellung gemessen wird, aus einer der Drehzahl des Rotors im wesentlichen umgekehrt proportionalen Zeitgröße errechnet wird, welche etwa eine Rotorumdrehung vor dem Zeitpunkt ermittelt wurde, an dem die aktuelle Messung der ersten Zeit erfolgt (Fig. 18: 542, 544, 546).
18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 17, bei welchem mindestens ein nicht zeitkritischer Verfahrensschritt als Unterroutine (Fig. 9) ausgebildet ist, welche im Programmablauf aufgerufen wird, wenn Prozessorzeit verfügbar ist (Fig. 15).
19. Verfahren nach Anspruch 18, bei welchem die Berechnung der zur Drehzahl des Motors im wesentlichen umgekehrt proportionalen Zeitgröße (t_H) und die Berechnung des der Messung der ersten Zeit zugrundeliegenden

Zahlenwerts (t_{TI}) in einer solchen Unteroutine (Fig. 9) erfolgen.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 19, bei welchem mindestens ein für Berechnungen erforderlicher Parameter (t_{ZW}) aus einem dem Motor zugeordneten nichtflüchtigen Speicher (26) in ein RAM (25) des Mikroprozessors (11) geladen wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20, bei welchem dem nichtflüchtigen Speicher (26) ein Bus (30) zugeordnet ist, über welchen mindestens ein Parameter im nichtflüchtigen Speicher (26) veränderbar ist.
22. Elektronisch kommutierter Motor mit einem Stator, einem Rotor (39), und mit einem zur Steuerung der Kommutierung des Motors (M) dienenden programmgesteuerten Mikroprozessor oder Mikrocontroller (11), im folgenden Mikroprozessor genannt,
wobei bei mindestens einer vorgegebenen Rotorstellung ein Timer (CNT_HL) mit einem vorgegebenen Startwert (t_{TI}) gestartet wird, welcher Timer (CNT_HL) nach Ablauf einer von dem Startwert (t_{TI}) abhängigen Zeit einen Interrupt (Fig. 10) im Programm des Mikroprozessors (11) auslöst, während dessen eine Kommutierung (Fig. 10: S318, S320, S322) des Motors (M) erfolgt.
23. Motor nach Anspruch 22, bei welchem der Startwert (t_{TI}) des Timers (CNT_HL) eine Funktion einer drehzahlabhängigen Zeit (t_H) ist, die der Rotor (39) in einem dieser Kommutierung vorausgehenden Zeitbereich für seine Drehung um einen vorgegebenen Drehwinkel benötigt hat.
24. Motor nach Anspruch 23, bei welchem zur Berechnung des Startwerts (t_{TI}) eine vorgegebene Zeit (t_{ZW}) von der drehzahlabhängigen Zeit (t_H) subtrahiert wird.
25. Verfahren zur Bestimmung einer drehzahlabhängigen Größe bei einem elektronisch kommutierten Motor (M), welcher einen Stator, einen permanentmagnetischen Rotor (39), einen von diesem Rotor gesteuerten galvanomagnetischen Sensor (40), einen Mikroprozessor oder

Mikrocontroller (11), im folgenden Mikroprozessor genannt, ein diesem Mikroprozessor zugeordnetes Steuerprogramm, und einen Timer (CNT_HL) aufweist, mit folgenden Schritten:

- a) Das Ausgangssignal des galvanomagnetischen Sensors (40) wird in ein rechteckförmiges Signal (HALL) umgeformt;
- b) vorgegebene Signaländerungen des rechteckförmigen Signals (HALL) werden vom Mikroprozessor erfaßt und durch das Steuerprogramm jeweils in einen rotorstellungsabhängigen Interrupt (Fig. 4: Y) umgesetzt;
- c) bei einem rotorstellungsabhängigen Interrupt (Y) wird ein erster Zählerstand (Fig. 4: t_0) des Timers festgehalten;
- d) bei einem darauffolgenden rotorstellungsabhängigen Interrupt (Y) wird ein zweiter Zählerstand (t_E) des Timers festgehalten;
- e) aus der Differenz der beiden Zählerstände (t_0 , t_E) wird als drehzahlabhängige Größe ein Wert (Fig. 4: HL) ermittelt, welcher der Zeit entspricht, die der Rotor (39) für das Durchlaufen eines vorgegebenen Drehwinkels benötigt (Fig. 4, Fig. 20).

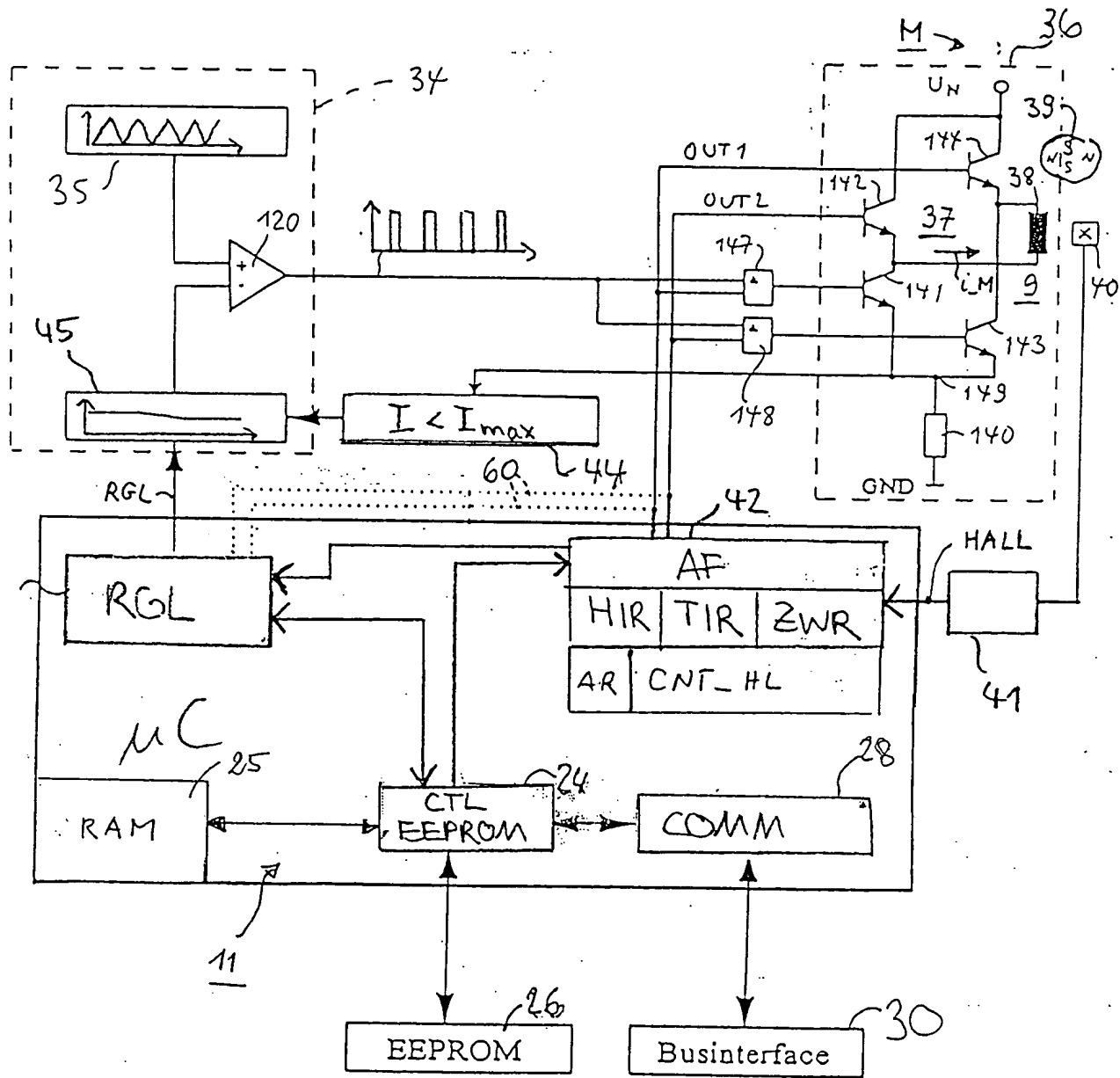


Fig. 1

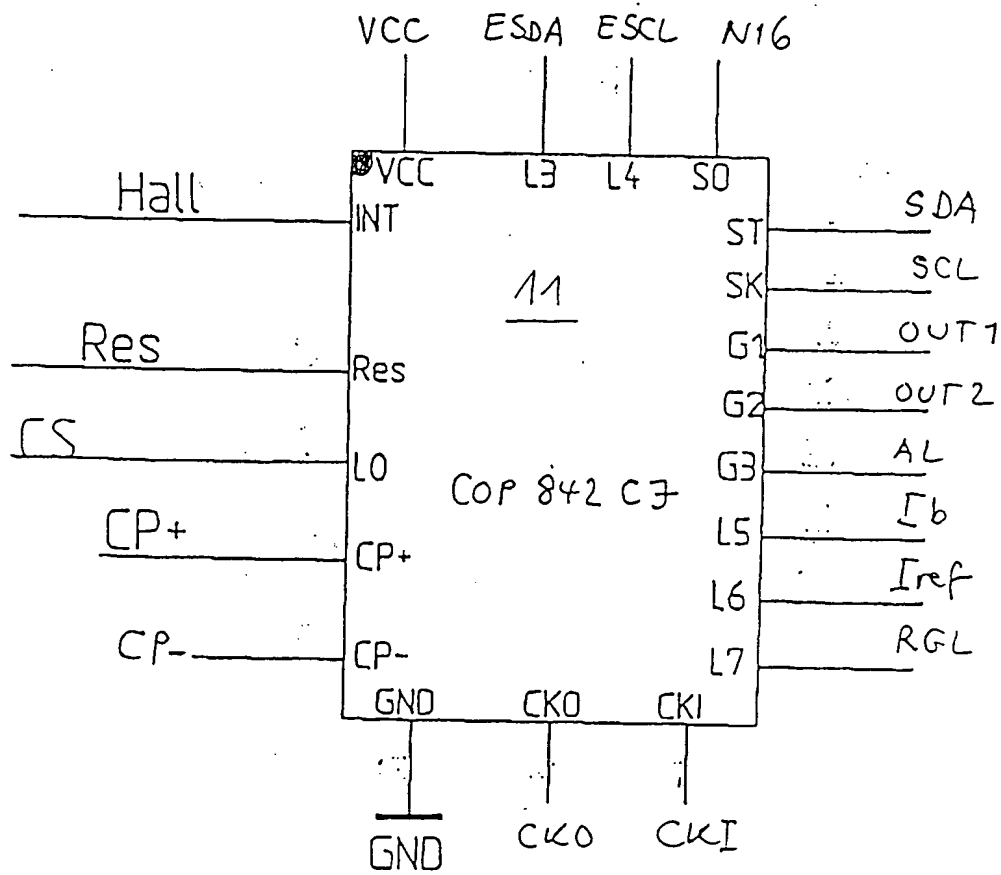


Fig. 2

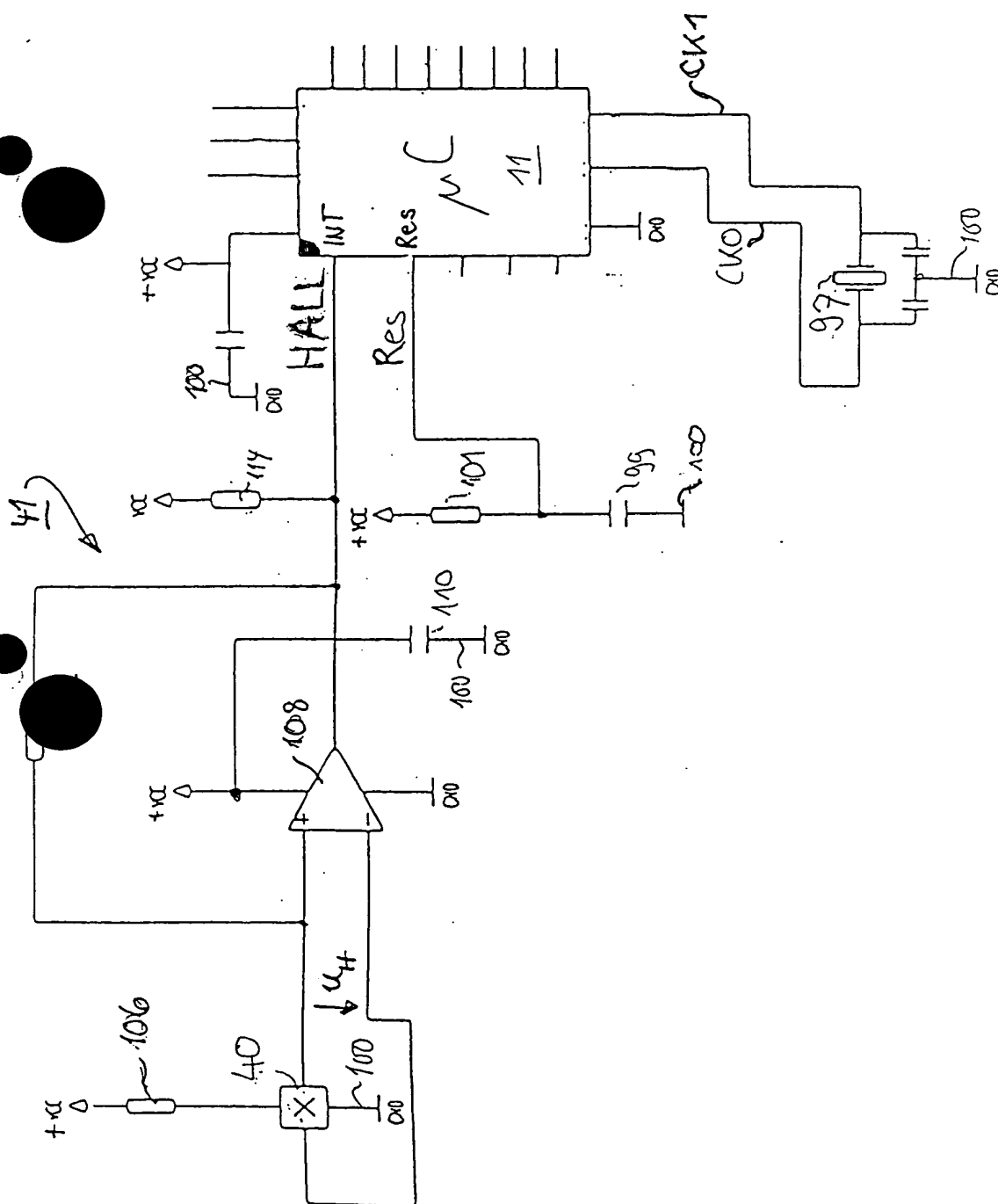


Fig. 3

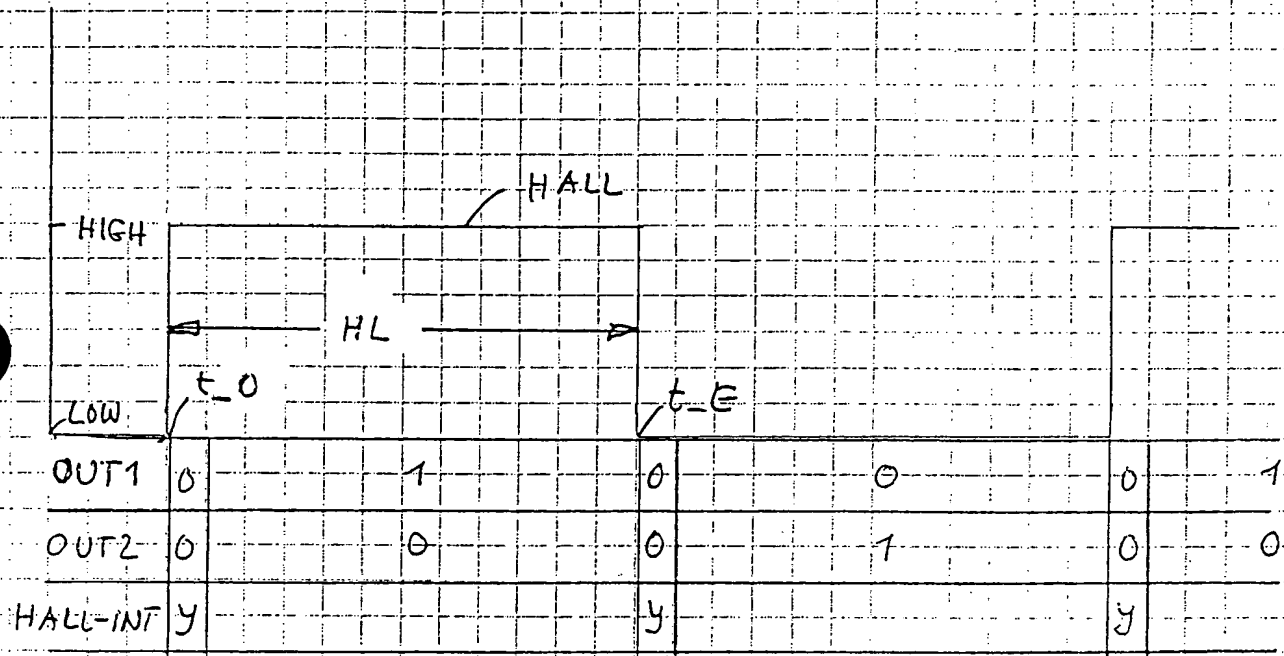


Fig. 4

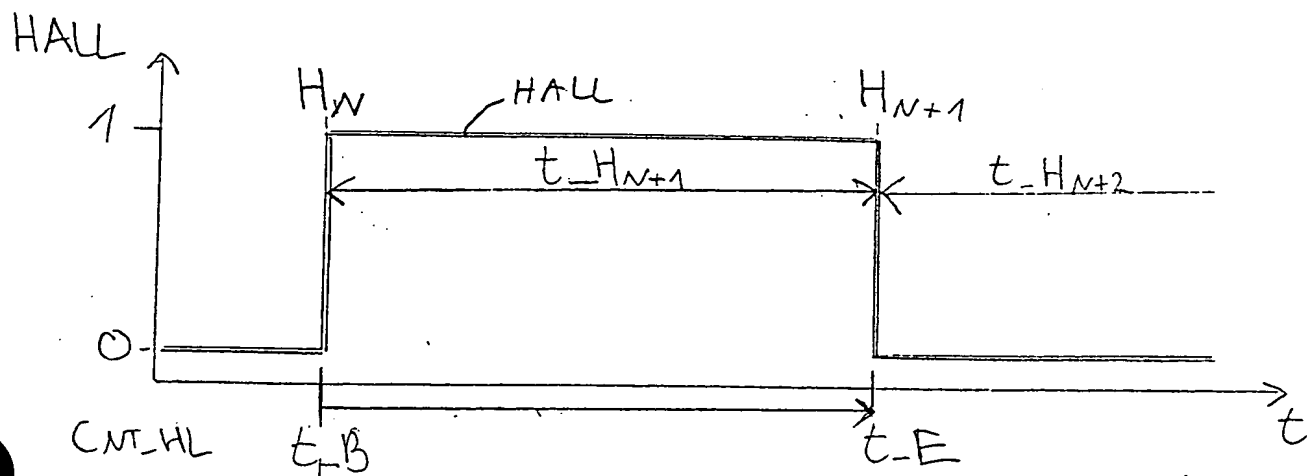


Fig. 6A

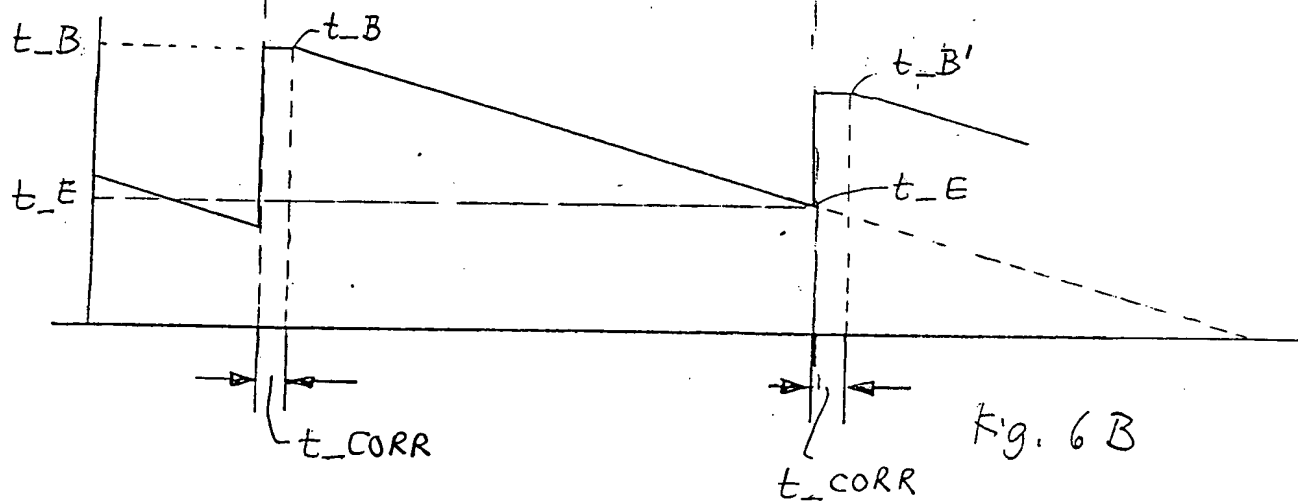


Fig. 6B

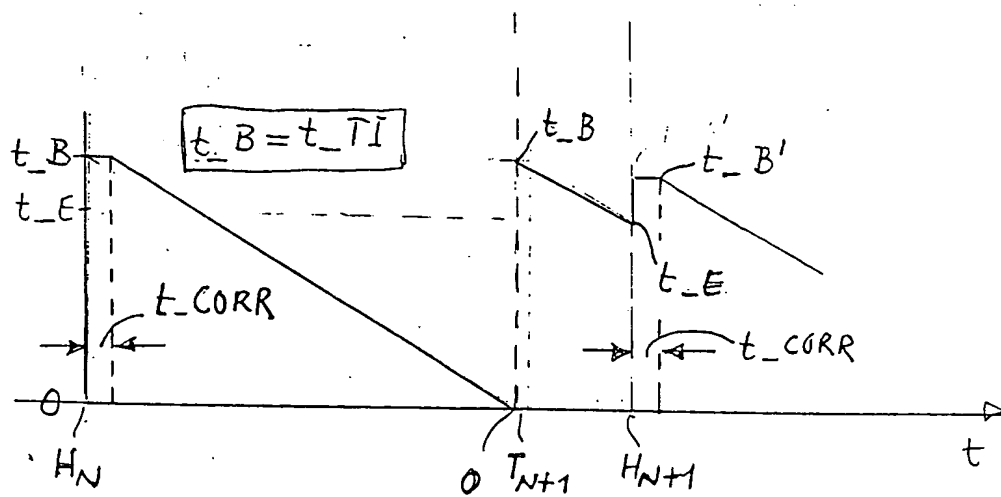
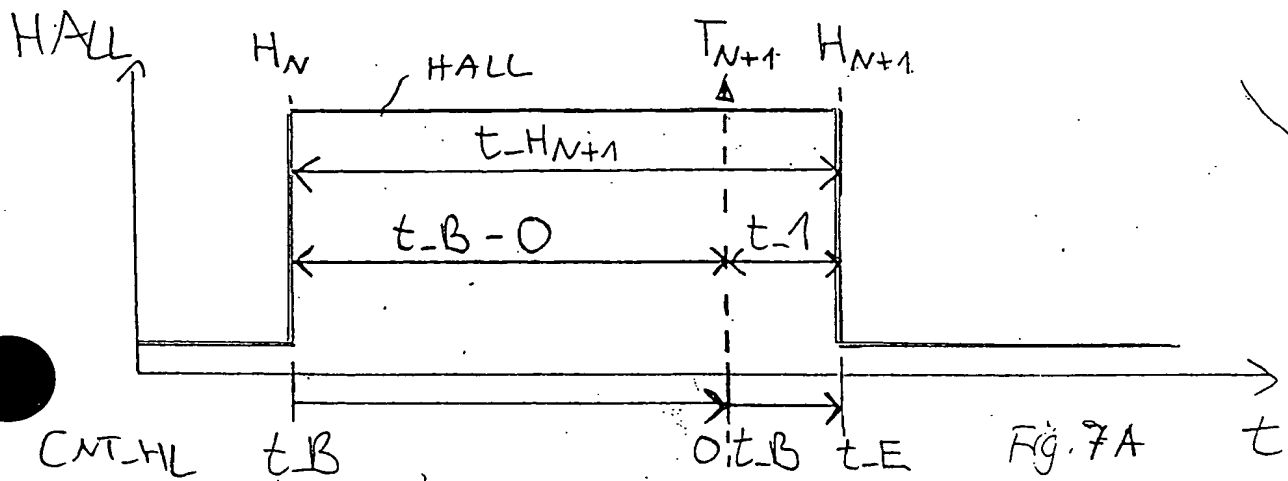


Fig. 7 B

Fig. 7

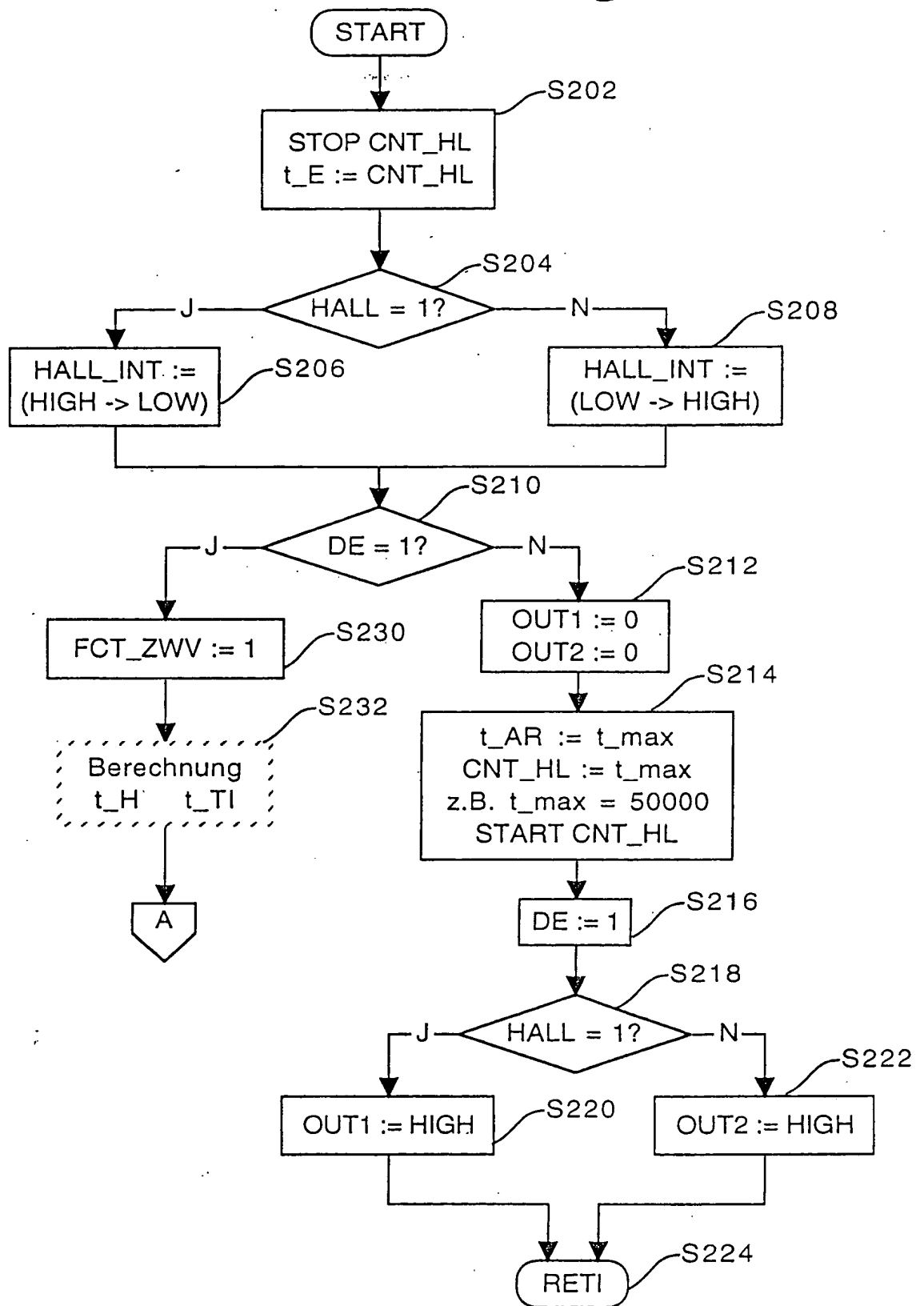


Fig. 8A

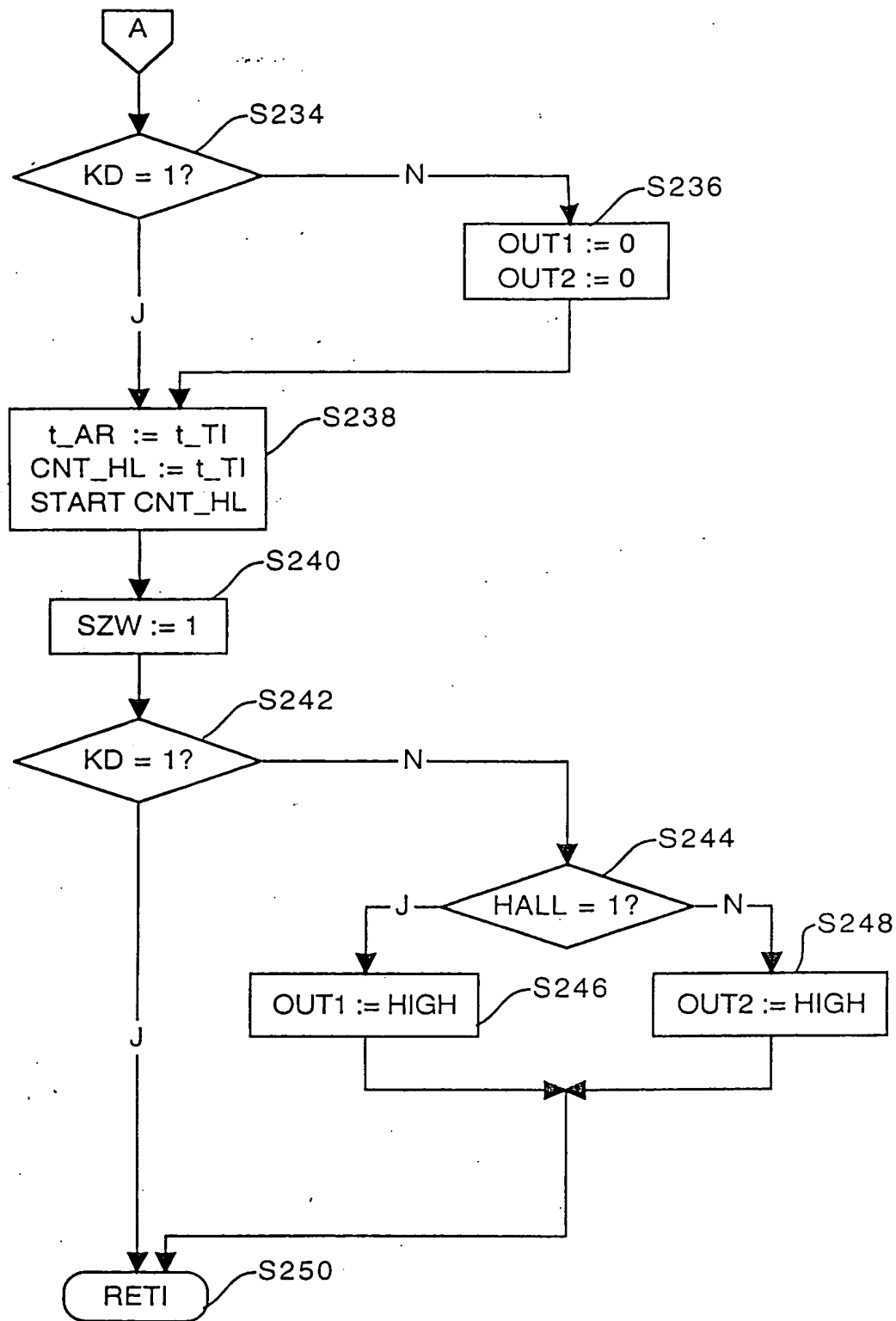


Fig. 8B

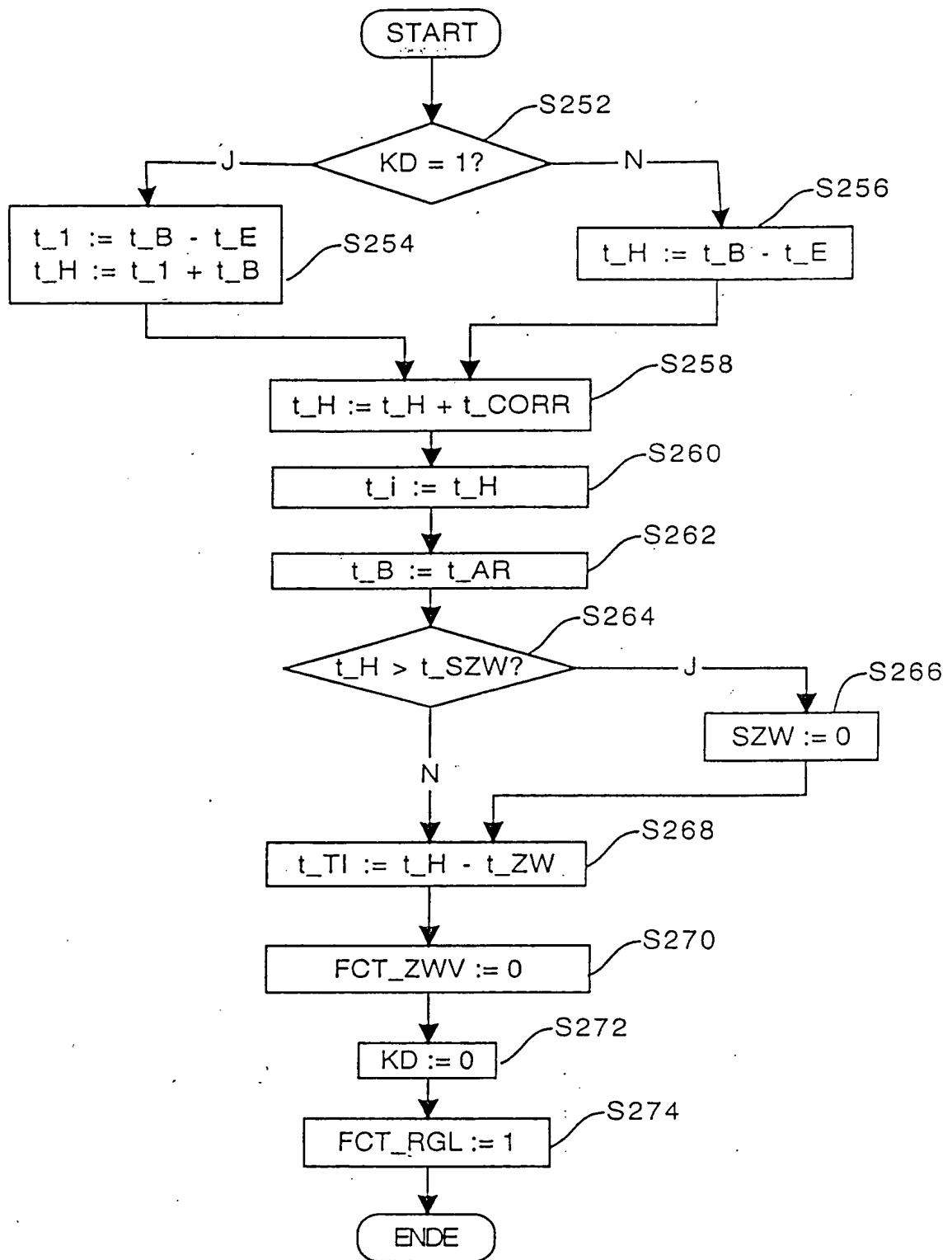


Fig. 9

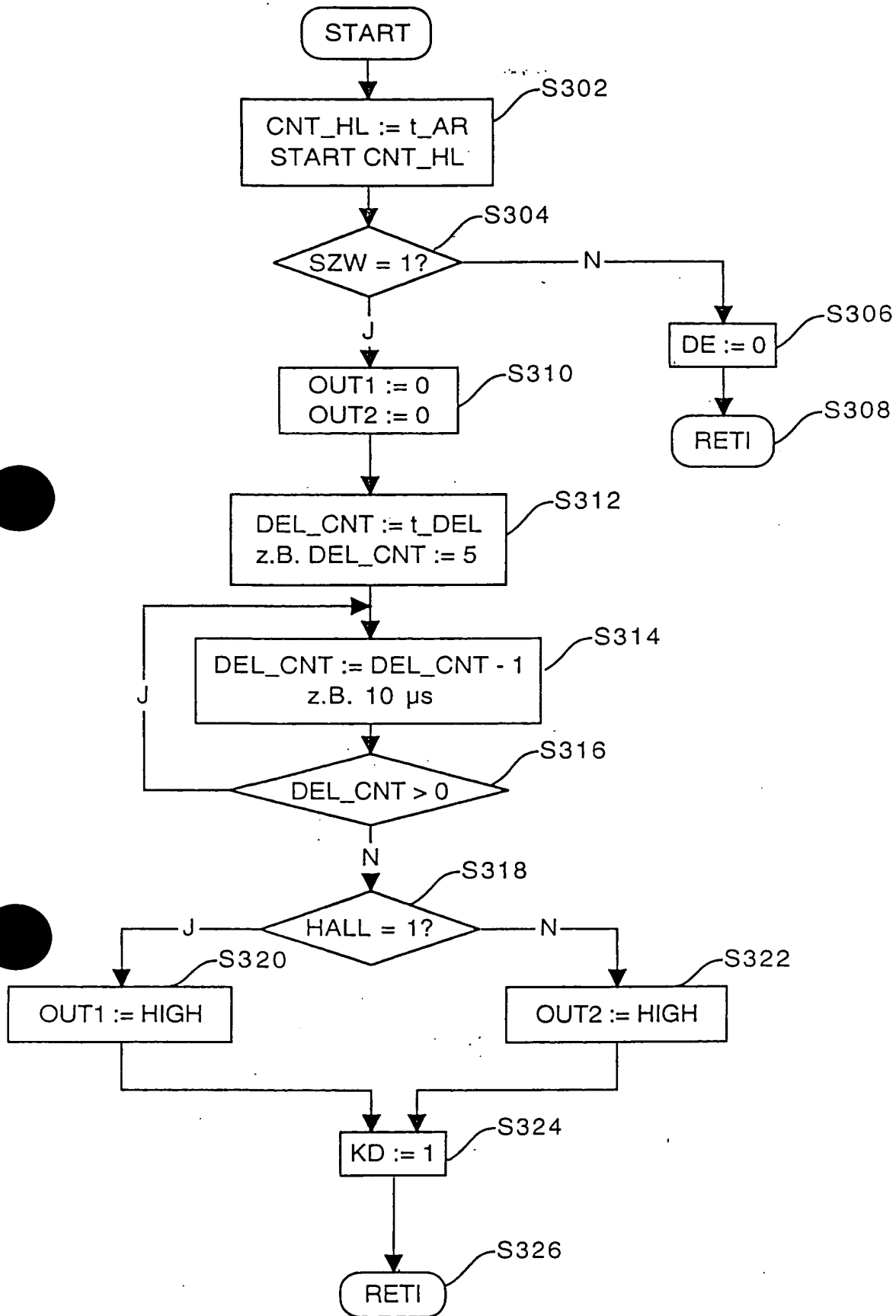


Fig. 10

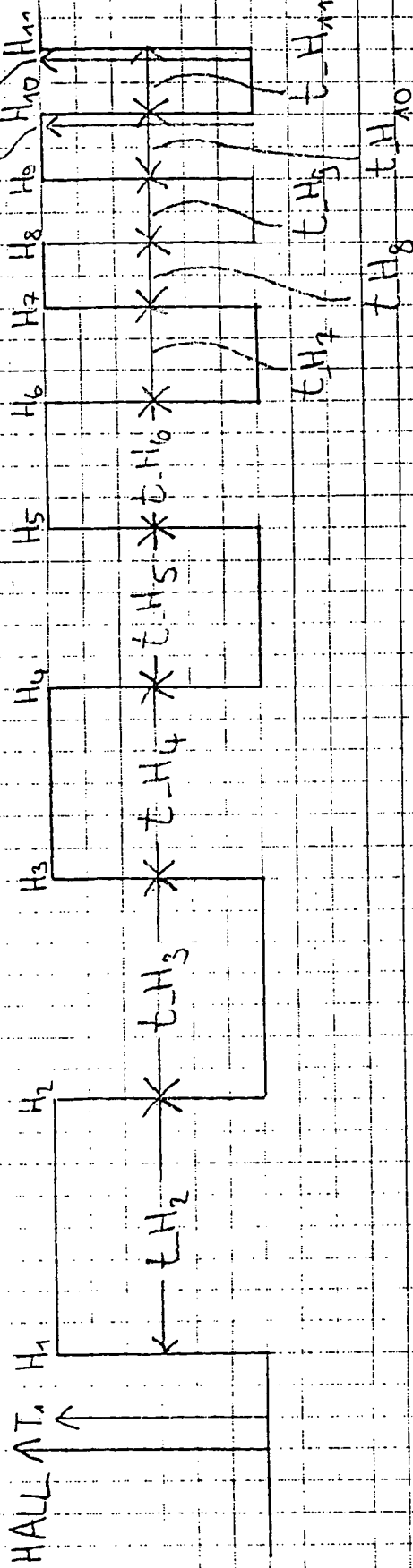


Fig 11

HAALL ↑

1

H₀

T_A H₁

HAALL

H₂

B₃

H₃

B₄

H₄ B₅

H₅ B₆

H₆ B₇ H₇

1

1

$t_{H1} = 60ms$

$t_{H2} = 40ms$

$t_{H3} = 35ms$

$t_{H4} = 30ms$

$t_{H5} = 25ms$

$t_{H6} = 20ms$

$t_{H7} = 15ms$

0

HAALL ↓

1

HAALL

H₂

B₃

H₃

B₄

H₄ B₅

H₅ B₆

H₆ B₇ H₇

1

1

1

IDE 0

1

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

KD 0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

S2W 0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

t AR 50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

CMT HL 50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

t E

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

40

t H

35

35

35

35

35

35

35

35

35

35

35

35

35

t TI 50

398

398

398

398

398

398

398

398

398

398

398

398

398

t B 50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

50

OUT1 1

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

OUT2 0

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

Fig 12 A

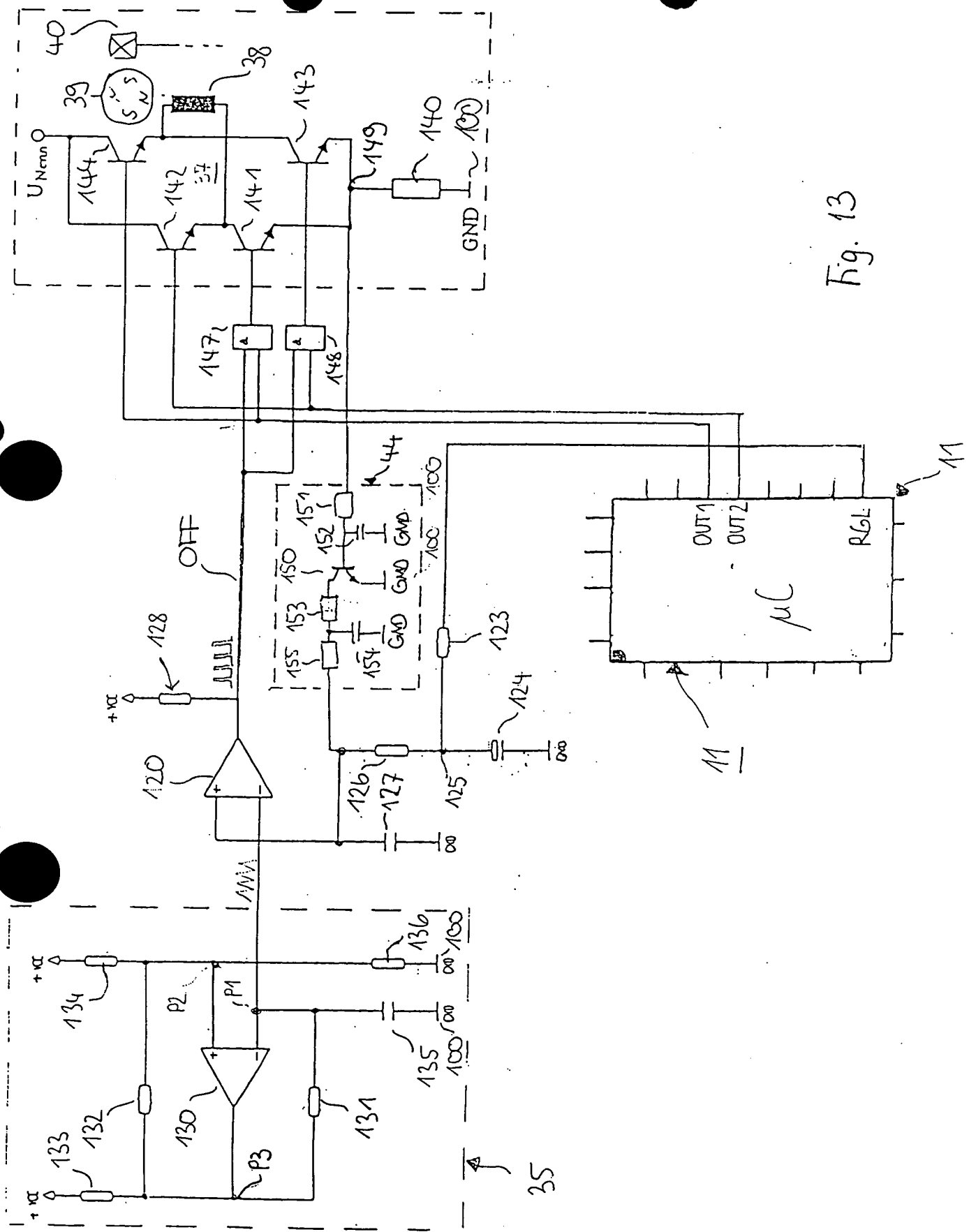


Fig. 13

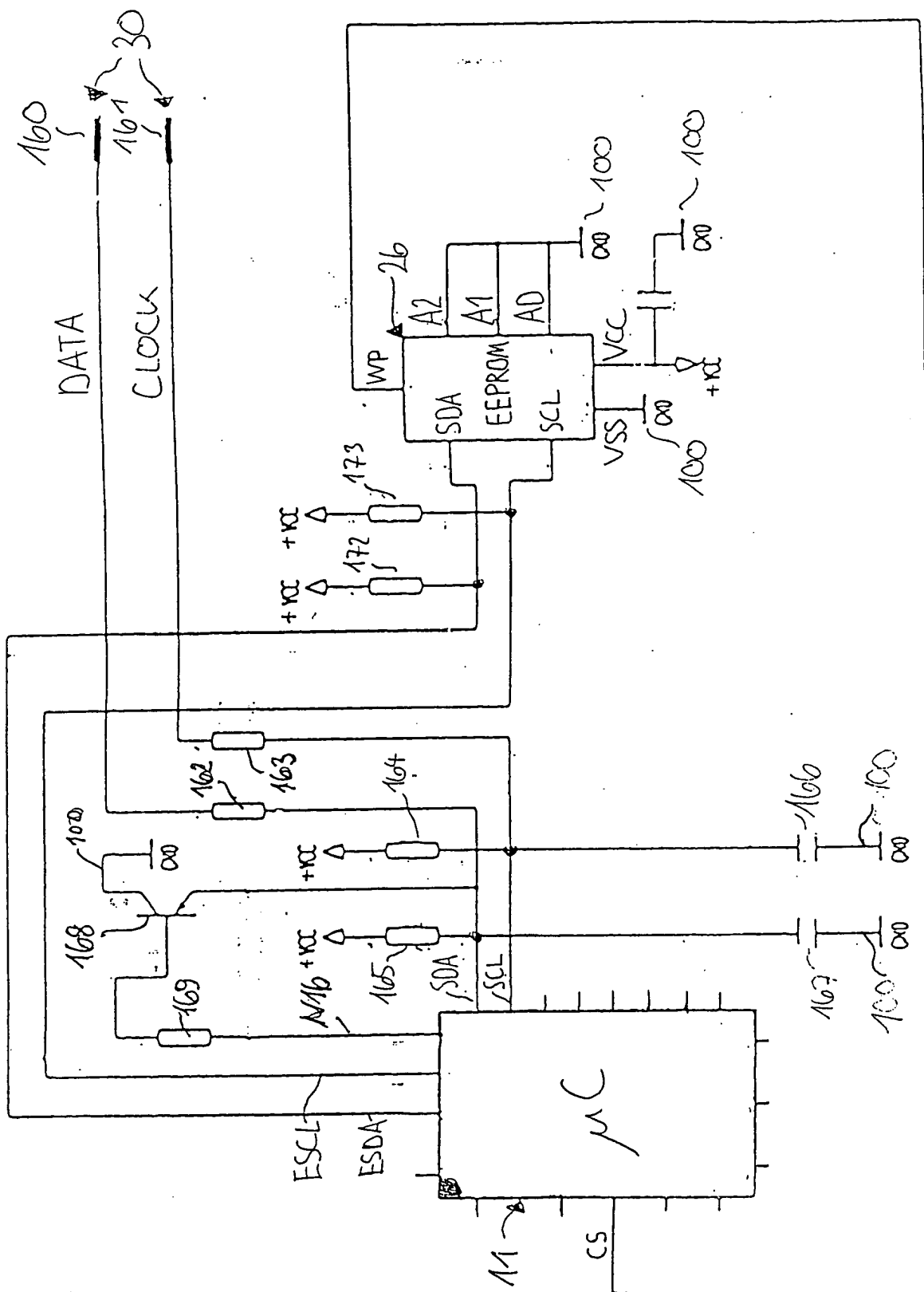


Fig. 14

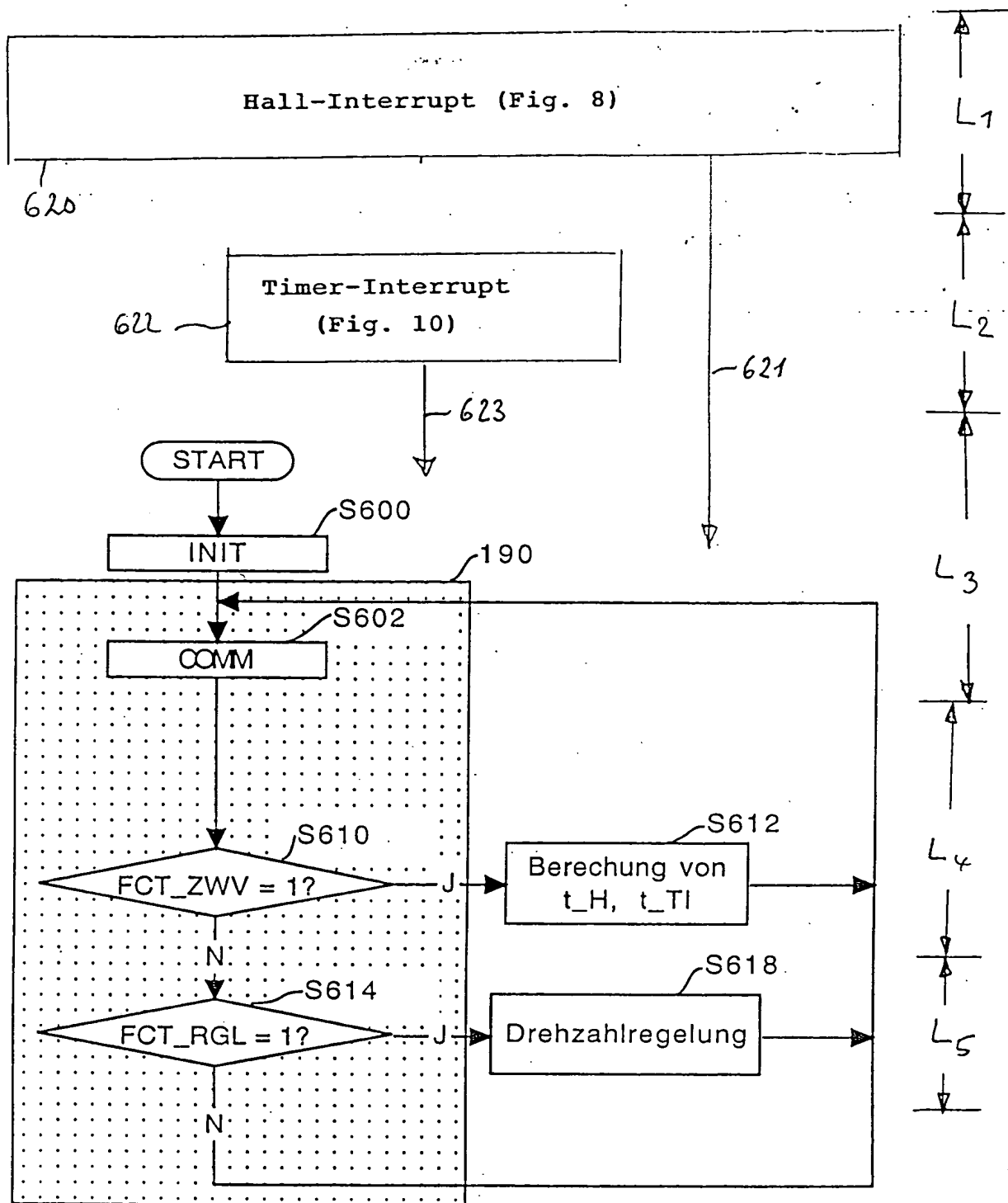


Fig. 15

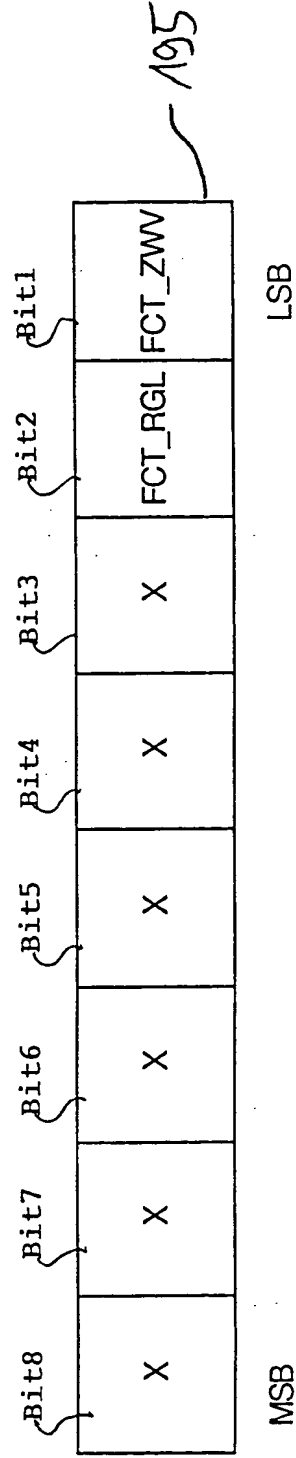


Fig. 16

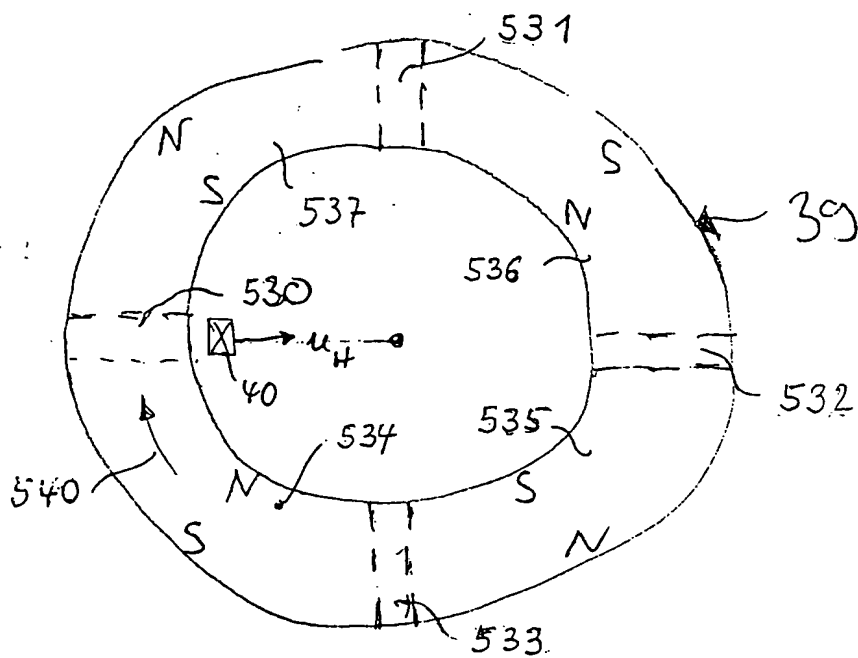
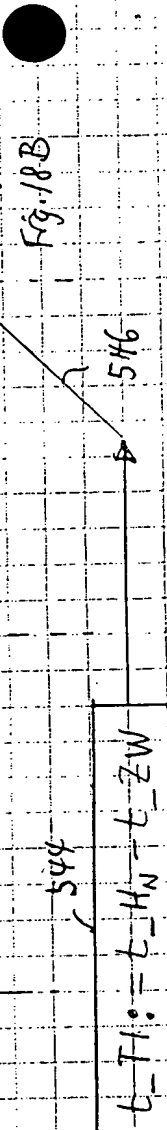
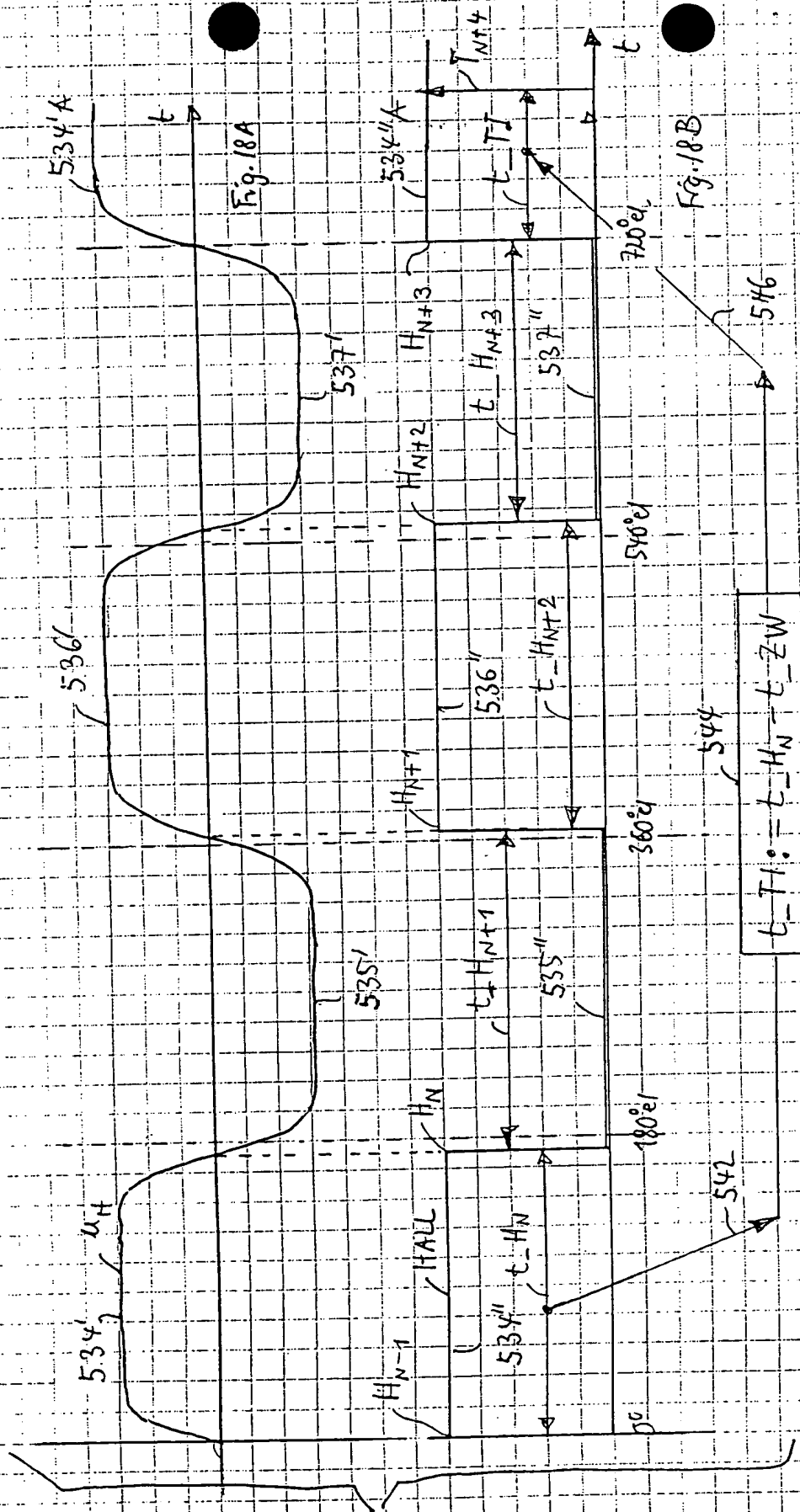


Fig. 17


$$\begin{array}{r} 8 \\ 18 \\ \hline 26 \end{array}$$

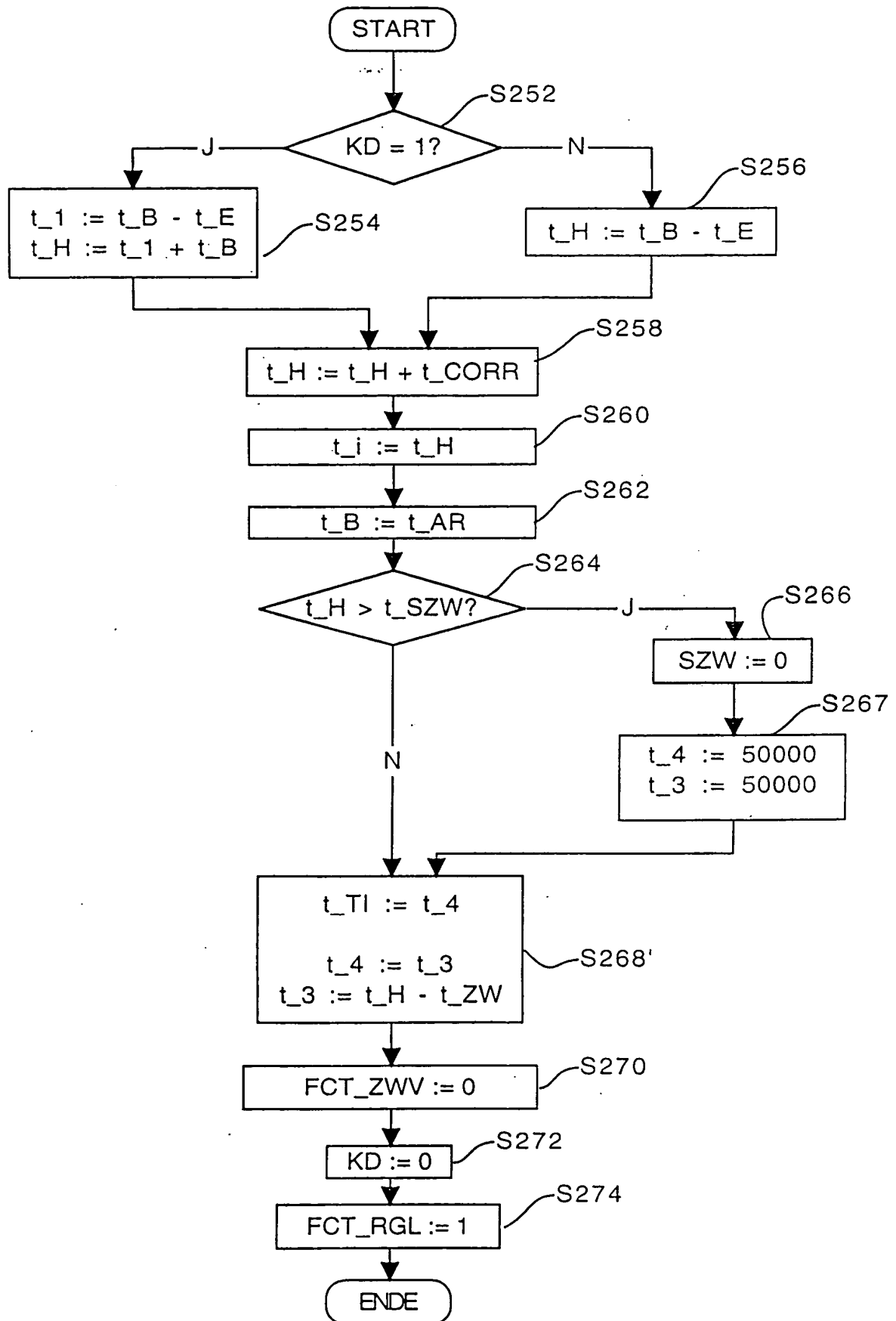


Fig. 19

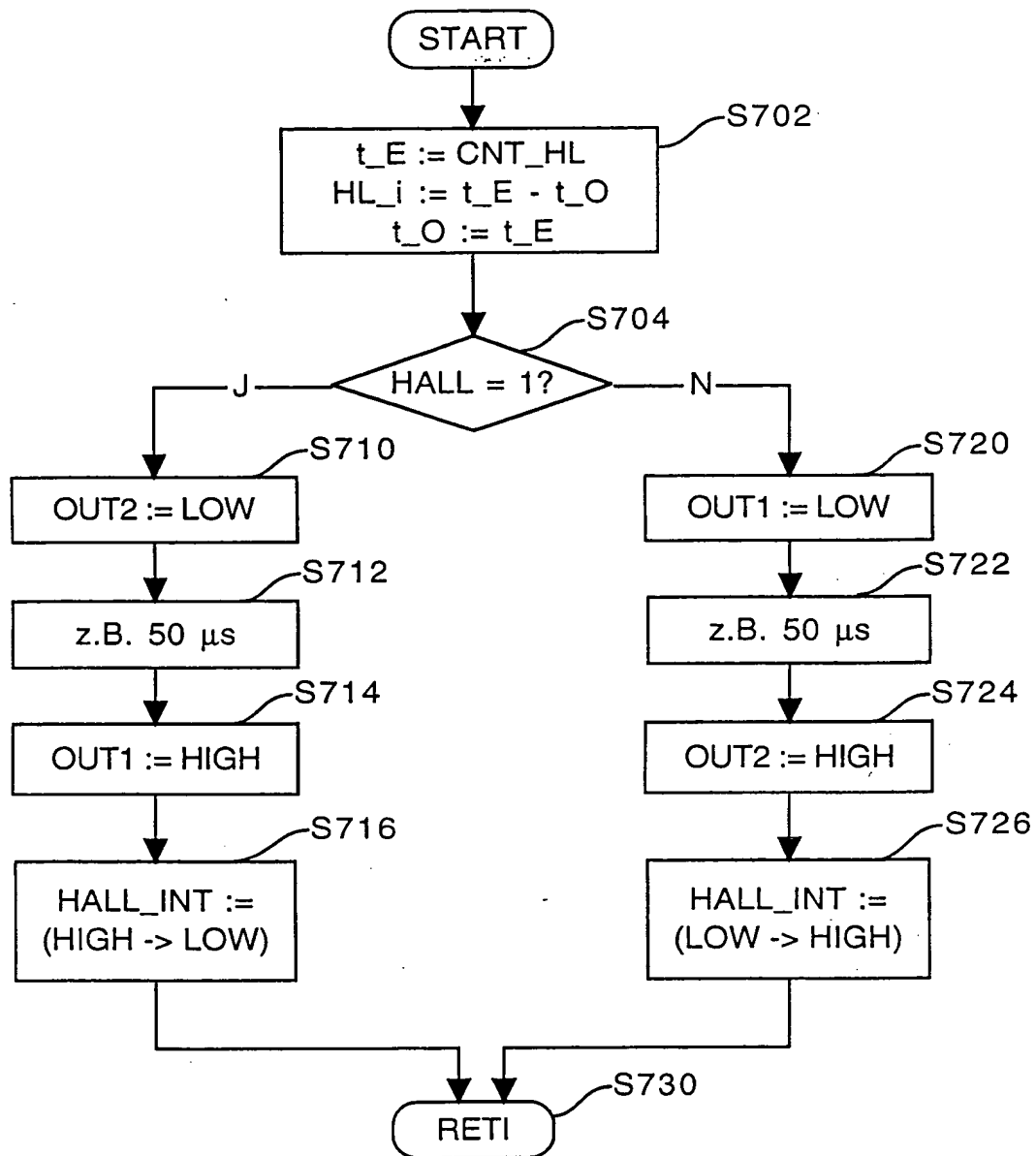


Fig. 20

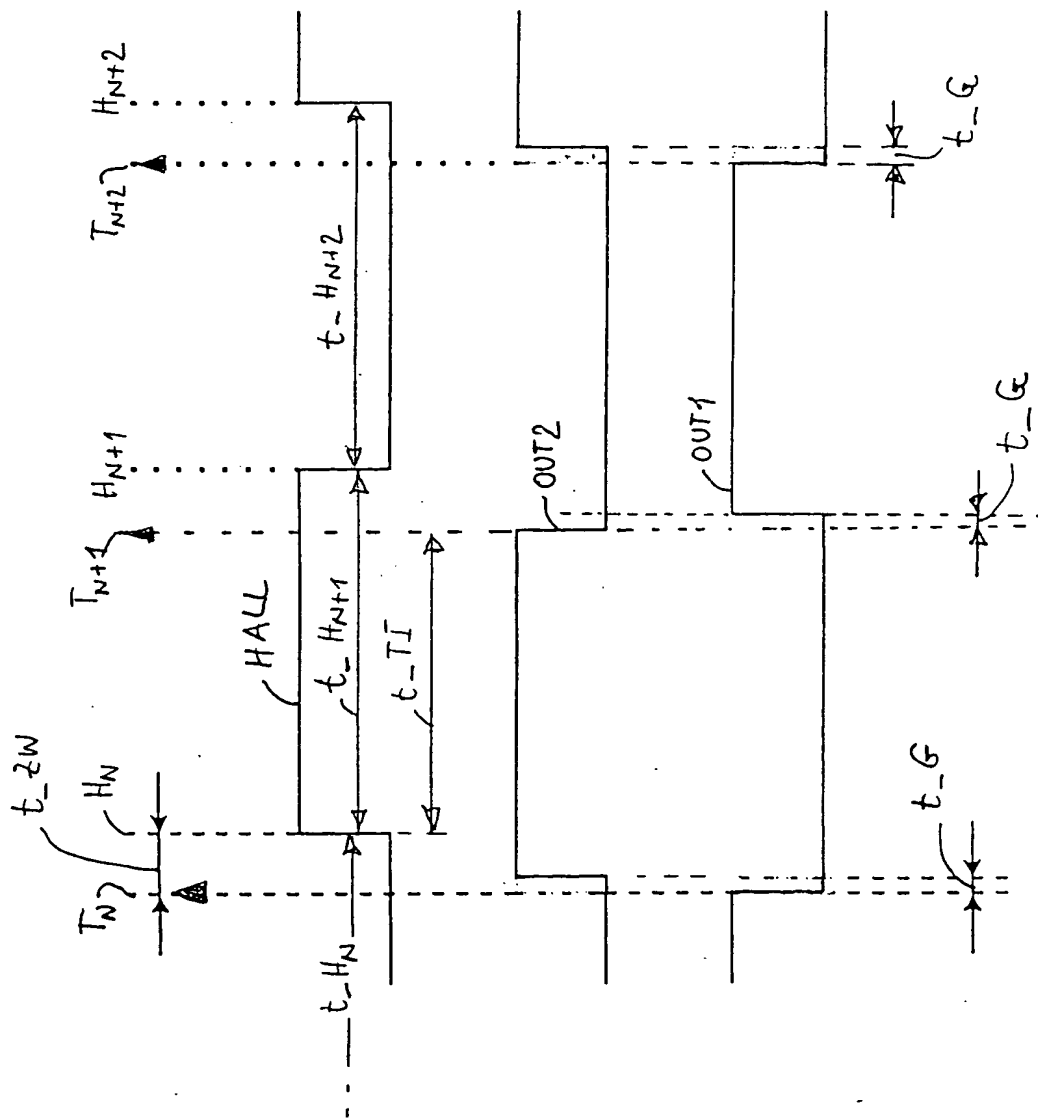


Fig. 21A

Fig. 21B

Fig. 21C

Fig. 21

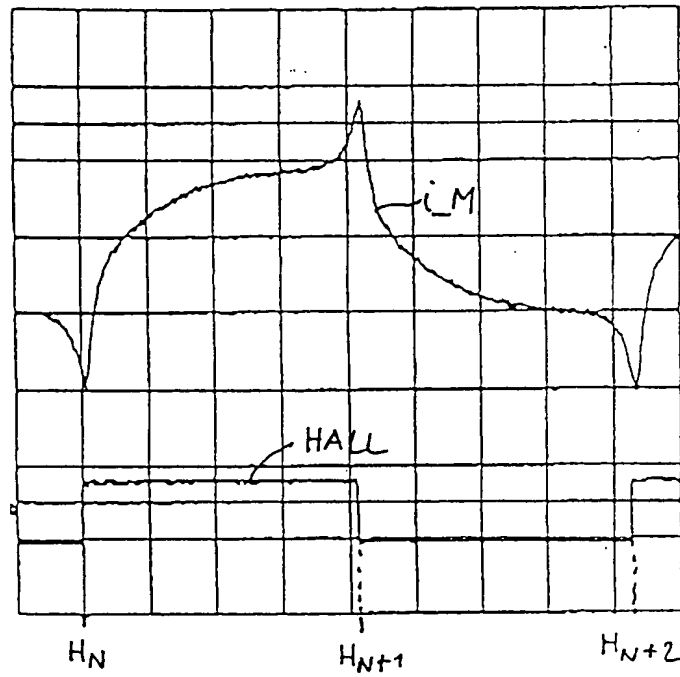


Fig. 22

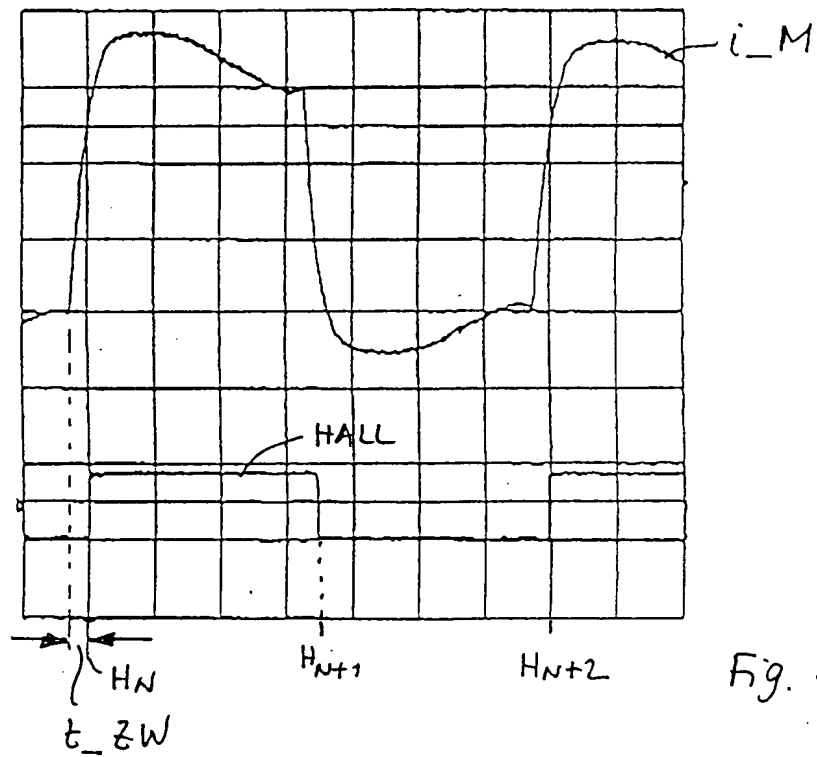


Fig. 23